

AUTOMATIZACIÓN DE LA PARTE FINAL DEL SUBPROCESO DE REFINERÍA Y DEL SUBPROCESO  
DE EMPACADO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR REFINADA DEL INGENIO  
RISARALDA

JHONNATAN ALDEVIER ARIAS CADENA

Proyecto de Grado para optar por el Título de Ingeniero Electricista

Director:

JULIÁN DAVID ECHEVERRY CORREA

Codirector:

MAURICIO MORALES PÉREZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PEREIRA

NOVIEMBRE 2019

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por darme la vida y las fuerzas para salir adelante, te doy gracias señor por ser mi inspiración,  
mi maestro, padre, mi todo.*

*A mi madre Alba Yaneth Cadena Cardona, porque ha sido padre y madre para mí y gracias a ella he  
logrado mis triunfos, siempre ha sido la parte fundamental de mis éxitos, porque siempre ha estado  
conmigo en las buenas y en las malas; siempre será un ejemplo a seguir la AMO; gracias a ella soy  
quien soy.*

*A mi hija Ana Karina Arias Hernández, por ser mi impulso, mi motor para seguir adelante cada día.*

*Al ingeniero y maestro de la universidad Mauricio Morales Pérez por su ardua colaboración.*

*A todos mis maestros y compañeros que he conocido a lo largo de mi vida, que compartieron sus  
experiencias las cuales me servirán para mi desarrollo profesional y personal, que han dejado una  
huella en mí.*

*Y agradezco especialmente a la empresa Ingenio Risaralda por permitirme realizar el planteamiento  
de dicho proyecto y por poder culminar mis estudios superiores, mientras laboraba.*

## Contenido

Índice de figuras .....	5
Índice de tablas .....	7
OBJETIVOS.....	8
OBJETIVO GENERAL.....	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
RESUMEN .....	9
CAPÍTULO 1 .....	10
1. INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO 2 .....	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
2.1. Automatización industrial .....	11
2.2. Elementos que componen un sistema automatizado. ....	12
2.2.1. Actuadores.....	12
2.2.2. Pre-actuadores.....	13
2.2.3. Sensores.....	13
2.2.4. Controladores.....	15
2.2.4.1. Lógicas de Control.....	15
2.2.4.1.1. Lógica Cableada. ....	15
2.2.4.1.2. Lógica Programada.....	16
2.3. Guía GEMMA (Guía de los Estudios de Marcha y Parada de los Sistemas Automatizados).....	16
2.3.1. Grupo F. Procedimientos de funcionamiento.....	17
2.3.2. Grupo A. Procedimiento de paradas y puestas en marcha .....	18
2.3.3. Grupo D. Procedimientos de defecto .....	18
2.3.4. Metodología a seguir en la implementación de un automatismo.....	19
2.4. SISTEMAS SCADA.....	20
2.5. ESTADO DEL ARTE .....	20
2.6. PLAN DE MEJORAMIENTO.....	22
CAPÍTULO 3 .....	23
3. MARCO EXPERIMENTAL .....	23
3.1. E1. Aspectos generales del proceso GRAFCET de producción de primer nivel (descriptivo). 23	
3.1.1. Primera parte .....	23
3.1.2. Segunda parte .....	24

3.1.3. GRAFCET de producción de primer nivel (descriptivo).....	26
3.2. E2. Condiciones del proceso, detectores, indicadores y actuadores necesarios.....	26
3.3. E3 – Representación GRAFCET de producción de segundo nivel (tecnológico y operativo).	27
3.4. E4 – Descripción de los estados de la guía GEMMA implementados. ....	37
3.5. E5 - Caminos de evolución entre los distintos estados.....	38
3.6. E6 – Elementos de un pupitre del operador. ....	38
3.7. E7 - Definir sobre GEMMA las condiciones de evolución entre los distintos estados.....	39
3.8. E8 - Preparar el GRAFCET completo de segundo nivel a partir del de producción representado antes y de la GEMMA. ....	39
3.9. E9 - Escoger la tecnología de control: número de autómatas programables, tipo de entrada y salidas, reguladores industriales, bus de comunicación.....	41
3.10. E10 - Representar el GRAFCET de tercer nivel concreto (a nivel de autómata). ....	41
3.11. E11 - Instalación, implementación, puesta a punto y pruebas.....	41
CONCLUSIONES .....	63
TRABAJO FUTURO .....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXO .....	¡Error! Marcador no definido.

## Índice de figuras

Figura 2-1. Modelo estructural de un sistema de automatización. ....	11
Figura 2-2. Clasificación de actuadores según el tipo de energía empleada. ....	12
Figura 2-3. Criterios de clasificación comunes de los sensores. ....	14
Figura 2-4. Modos de funcionamiento guía GEMMA. ....	17
Figura 3-1. Esquema gráfico. Inicio del proceso. ....	24
Figura 3-2. Esquema gráfico. Intermedio del proceso. ....	25
Figura 3-3. Esquema gráfico. Final del proceso. ....	25
Figura 3-4. GRAFCET de primer nivel ....	26
Figura 3-5. GRAFCET Segundo Nivel, correspondiente a la macro -etapa 1, Inicio de purga ...	28
Figura 3-6. GRAFCET Segundo Nivel, correspondiente a la macro -etapa 2, Inicio Muestreo ..	28
Figura 3-7. GRAFCET Segundo Nivel, correspondiente a la macro -etapa 4, Inicio Empacado	29
Figura 3-8. GRAFCET correspondiente a la macro -etapa 5, Inicio Reproceso. ....	29
Figura 3-9. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de encendido equipos purga. ....	31
Figura 3-10. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de encendido equipos muestreo. ....	32
Figura 3-11. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de encendido equipos empacado. ....	33
Figura 3-12. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de encendido equipos reproceso. ....	34
Figura 3-13. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de apagado equipos purga. ....	35
Figura 3-14. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de apagado equipos muestreo. ....	36
Figura 3-15. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de apagado equipos empacado. ....	36
Figura 3-16. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de apagado equipos reproceso. ....	37
Figura 3-17. Modos de funcionamiento guía GEMMA implementados. ....	38
Figura 3-18. Pupitre de acceso para operador. ....	38
Figura 3-19. Modos de funcionamiento guía GEMMA implementados. ....	39
Figura 3-20 GRAFCET Segundo Nivel, operación manual. ....	41
Figura 3-21. Programación en TIA Portal V13, lenguaje Ladder. ....	42
Figura 3-22. Interfaz Inicial. ....	43
Figura 3-23. Interfaz intermedia. ....	43
Figura 3-24. Interfaz Final. ....	44
Figura 3-25. Interfaz ingreso de usuario. ....	44
Figura 3-26. Botonera de la interfaz intermedia. ....	45
Figura 3-27. Zoom interfaz intermedia “Elegir Silo e iniciar”. ....	45
Figura 3-28. Interfaz intermedia ventana emergente. ....	46
Figura 3-29. Zoom interfaz intermedia ventana emergente ....	46

Figura 3-30. Interfaz intermedia, ventana emergente separación grano fino. ....	47
Figura 3-31. Zoom interfaz intermedia, ventana emergente separación grano fino .....	47
Figura 3-32. Botoneras de la interfaz final.....	48
Figura 3-33. Botoneras de la interfaz final.....	48
Figura 3-34. Interfaz final, ventana emergente “Elegir silo a muestrear” .....	49
Figura 3-35. Zoom interfaz final, “Elegir Silo a Empacar”. .....	49
Figura 3-36. Interfaz gráfica, cuando finaliza el proceso de muestreo. ....	50
Figura 3-37. Zoom interfaz final, botonera “Iniciar Empacado”. ....	50
Figura 3-38. Interfaz final, ventana emergente “Calidad Aprobada” .....	51
Figura 3-39. Zoom interfaz final, ventana emergente “Calidad Aprobada”. ....	51
Figura 3-40. Interfaz final, ventana emergente “Elegir silo a Empacar” .....	51
Figura 3-41. Zoom interfaz final, ventana emergente “Elegir silo a Empacar” .....	52
Figura 3-42. Zoom interfaz final, botonera “Iniciar Reproceso”. ....	52
Figura 3-43. Interfaz final, ventana emergente “Elegir Silo a Reprocesar” .....	53
Figura 3-44. Zoom interfaz final, ventana emergente “Elegir Silo a Reprocesar”. ....	53
Figura 3-45. Interfaz inicial, ventana emergente “Val. Rotatoria de Entrada”. ....	54
Figura 3-46. Zoom interfaz inicial, ventana emergente “Val. Rotatoria de Entrada”. ....	54
Figura 3-47. Interfaz intermedia, ventana emergente “Estado Nivel Silo N° 2” .....	55
Figura 3-48. Zoom interfaz intermedia, ventana emergente “Estado Nivel Silo N° 2”. ....	55
Figura 3-49. Interfaz intermedia, ventana emergente “Válvula Silo N° 2”. ....	56
Figura 3-50. Interfaz intermedia, ventana emergente “Válvula Silo N° 2”. ....	56
Figura 3-51 Interfaz final, ventana emergente “Banda N° 8”. ....	57
Figura 3-52 Zoom interfaz final, ventana emergente “Banda N° 8” .....	57
Figura 3-53. Interfaz final, botonera “Controles”.....	58
Figura 3-54. Interfaz final, menú de consulta “Controles”. ....	58
Figura 3-55. Zoom interfaz final, menú de consulta botonera “Controles”.....	58
Figura 3-56. Interfaz gráfica del visor de curvas tiempo real. ....	59
Figura 3-57. Interfaz gráfica del visor de alarmas tiempo real. ....	59
Figura 3-58. Interfaz gráfica del visor de informes. ....	60
Figura 3-59. Informe de Alarmas. ....	60
Figura 3-60. Informe de Auditoría. ....	61
Figura 3-61. Interfaz gráfica del visor de usuarios. ....	61
Figura 3-62. Fichero de variables. ....	62

## Índice de tablas

Tabla 2-1. Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas en cada tipo de actuador. ....	13
Tabla 3-1. Nombres de variables utilizadas en las macro-etapas, GRAFCET segundo nivel. ...	27
Tabla 3-3 Nombres de variables utilizadas en las secuencias de encendido y apagado, GRAFCET segundo nivel. ....	30

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Realizar un diseño validado por simulación correspondiente a la automatización de la parte final del subproceso de refinería y del subproceso de empackado de la línea de producción de azúcar refinada del Ingenio Risaralda, buscando estandarizar procesos y disminuir la dependencia humana.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Conocer y estudiar el proceso de producción, para realizar un diagnóstico y desarrollar un plan de mejoramiento enfocado a la automatización de la parte final subproceso de refinería y del subproceso de empackado de la línea de producción de azúcar refinada del Ingenio Risaralda.
2. Estudiar las metodologías actuales para el diseño de sistemas automatizados de producción industrial.
3. Diseñar un sistema automatizado basado en una metodología actual y adecuada para la parte final del subproceso de refinería y del subproceso de empackado de la línea de producción de azúcar refinada del Ingenio Risaralda.
4. Validar el diseño propuesto por medio de una simulación empleando un software especializado.



## RESUMEN

Actualmente los modelos de producción y consumo demandan alta competitividad de las empresas, con el fin de cubrir la necesidad y exigencias del mercado. Se hace necesario el mejoramiento continuo de sus procesos, para lo cual se realizan análisis, diagnósticos y se implementan planes de mejoramiento [1].

Está comprobado que una de las estrategias más efectivas para el mejoramiento de la productividad consiste en la tecnificación y automatización de los procesos industriales mediante la apropiación de nuevas tecnologías [2]. Un ejemplo sería la implementación de sistemas tipo SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) que permitan: la adquisición de datos, la supervisión del estado y comportamiento de los diferentes elementos del proceso, y el control de los mismos en forma automatizada y en tiempo real, permite optimizar las tareas de: proyección de la producción, programación de los mantenimientos, reducción de tiempos de producción, mejoramiento de la calidad del producto y tomar decisiones a partir de análisis estadístico de datos históricos, además de que la información obtenida del proceso de producción puede ser enviada en tiempo real a diferentes niveles constitutivos de la empresa y así tomar decisiones de manera oportuna [3].

Luego de realizar un análisis en el proceso de producción de azúcar refinada se encontró que algunos de sus subprocesos son desarrollados con una alta dependencia del factor humano y que pueden ser objeto de automatización, es el caso de la parte final del subproceso de refinería y el subproceso completo de empackado.

El diseño propuesto busca mejorar los índices de productividad de la parte final del subproceso de refinería y el proceso completo de empackado modernizando estas fases de la línea de producción, mediante la automatización de algunas acciones que se hacen en forma manual, pudiendo así evitar errores humanos, mejorar tiempos de producción y lograr la estandarización del proceso.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente muchas de las industrias ven la necesidad de automatizar sus procesos industriales buscando así disminuir el error humano, estandarizar procedimientos, mejorar la calidad de sus productos, disminuir tiempos de producción, minimizar riesgos y aumentar la productividad, todo con el objetivo de ser más competitivos en un mercado que así lo requiere. Los sistemas de automatización industrial modernos permiten además de realizar un control automatizado de los procesos hacer una supervisión en tiempo real del estado de los mismos, de tal forma que puedan ser monitoreados desde múltiples ubicaciones físicas dentro y fuera de la planta, permitiendo que diferentes niveles del organigrama empresarial conozcan al instante el estado de los procesos y puedan tomar decisiones respecto a producción, inventarios, despachos, mantenimientos, etc.

El Ingenio Risaralda es una reconocida empresa que se encarga del aprovechamiento sostenible de la caña de azúcar y sus derivados, con más de 40 años de presencia en el mercado ha desarrollado importantes procesos de modernización, como lo es por ejemplo la entrada en 2016 de su nueva planta de cogeneración de energía con una capacidad nominal de generación de 34,5MW, la cual destaca por su alto nivel de automatización permitiendo generar además del consumo propio, excedentes por 18MW/h que son vendidos al sistema interconectado. El Ingenio Risaralda no es ajeno a las exigencias del mercado y busca constantemente mejorar sus indicadores de producción. En ese orden de ideas y buscando optimizar al máximo, se realizó un análisis en el proceso de producción de azúcar refinada encontrando que algunos de sus subprocesos son desarrollados con una marcada dependencia del factor humano y que pueden ser objeto de automatización, es el caso de la parte final del subproceso de refinería y el subproceso completo de empackado. Para el subproceso de refinería y el inicio del subproceso de empackado de línea de azúcar refinada la operación de mando es realizada por una persona desde dos pupitres de control (botoneras) los cuales se encuentran cada uno ubicados en dos edificios diferentes, de tal forma que el operario debe desplazarse para realizar cualquier tipo de arranque o parada de los subprocesos mencionados, además se evidencia que algunas de las válvulas dispensadoras de producto son reguladas en forma manual según el estado de la producción, dicho estado depende en algunos casos del nivel de los silos de almacenamiento temporal los cuales no cuentan con sensores de nivel y son supervisados visualmente por el operario bajo la solicitud del encargado del área, labor que se realiza diariamente una vez terminado cada turno. En la parte final del subproceso de empackado las válvulas proporcionales son activadas de forma manual por el operario empackador desde las botoneras de la línea, regulando el paso de producto a caculo aproximado, dependiendo de la experiencia y agilidad del operador.

Se propone mediante este proyecto diseñar un sistema automatizado para el proceso de producción de azúcar refinada del Ingenio Risaralda específicamente de la parte final del subproceso de refinería y el subproceso completo de empackado enfocado a la estandarización del proceso y mejorar los índices de producción.

## CAPÍTULO 2

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto tiene como objetivo realizar un diseño validado por simulación correspondiente a la automatización de la parte final del subproceso de refinería y del subproceso de empackado de la línea de producción de azúcar refinada del Ingenio Risaralda, buscando estandarizar procesos y disminuir la dependencia humana.

La simulación fue realizada en Tía Portal, un software la marca Siemens.

#### 2.1. Automatización industrial

La Automatización Industrial se define como la aplicación de diferentes tecnologías como las: mecánica, eléctrica, neumática, oleo hidráulica, electrónica, computacional, de sensores, de redes de datos y comunicación para monitorear y controlar en forma automática (con la menor injerencia humana posible) un proceso, maquina, aparato o dispositivo que por lo general cumple funciones o tareas repetitivas dentro del proceso industrial, logrando con esto evitar errores humanos, disminuir tiempos de producción, estandarizar y tecnificar los procesos, mejorar la calidad del producto, evitar tareas que pueden presentar riesgos para un operario, en si aumentar la eficiencia de los procesos

Todo proceso de producción industrial a gran escala moderno cuenta con altos niveles de automatización como es el caso de la producción: alimenticia, farmacéutica, de productos químicos, automotrices, plásticos, energía, electrónicos, entre otros. Sin embargo, no sólo se aplica a maquinas o fabricación de productos, también se aplica a los bienes de servicio, a la gestión de procesos, al manejo de la información, al mejoramiento continuo de cualquier proceso que lleve a un desempeño más eficiente, desde la instalación, mantenimiento, diseño, contratación e incluso la comercialización. [4]

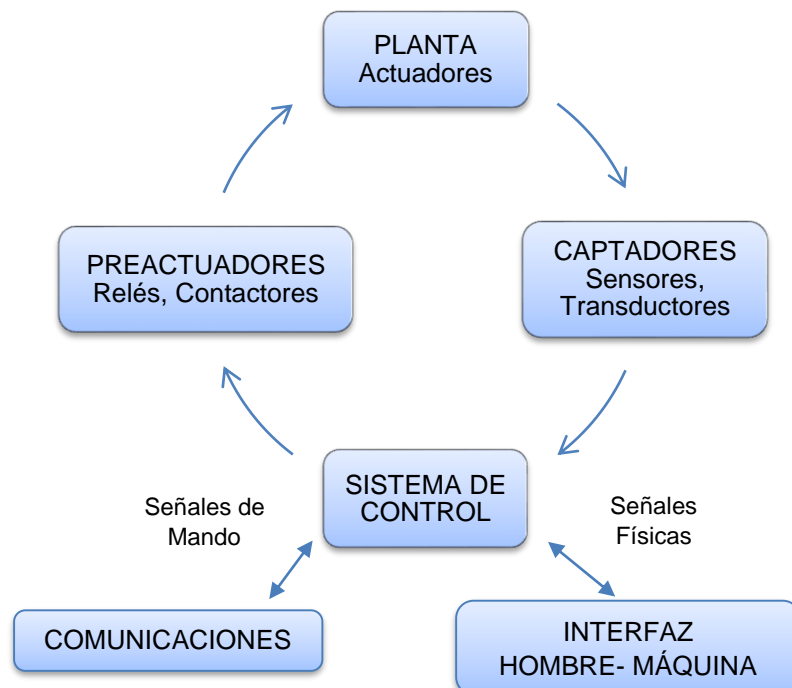


Figura 2-1. Modelo estructural de un sistema de automatización.

## 2.2. Elementos que componen un sistema automatizado.

### 2.2.1. Actuadores.

Los actuadores son los encargados de proporcionar fuerza para mover o actuar otro dispositivo mecánico, la fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo de el origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico” (nos ayudan a realizar esfuerzos físicos, como mover una bomba, prensar o desplazar un objeto).

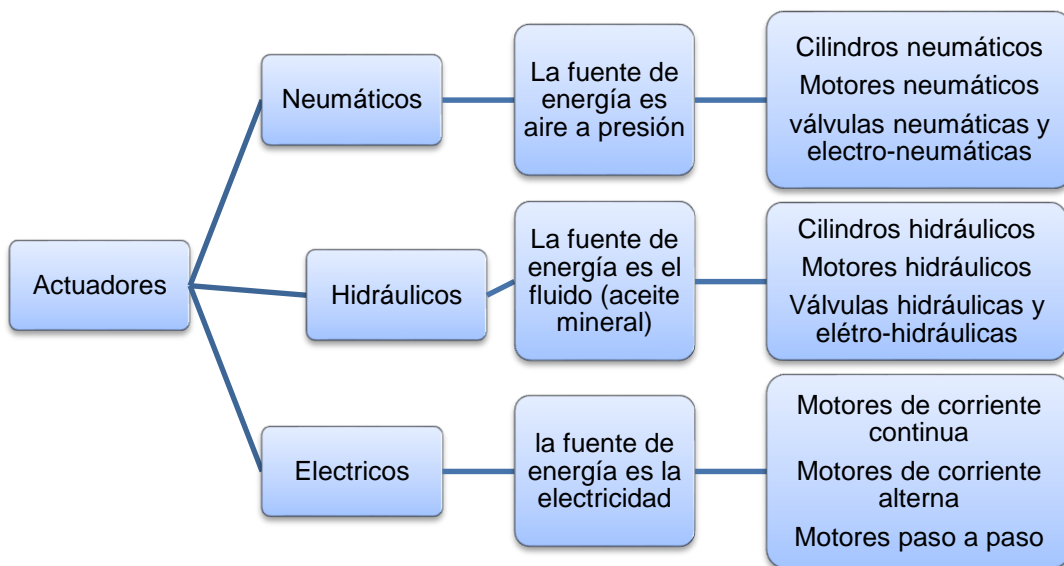


Figura 2-2. Clasificación de actuadores según el tipo de energía empleada.

Los actuadores neumáticos transforman la energía acumulada en el aire comprimido en trabajo mecánico de movimiento circular o movimiento rectilíneo. Los actuadores neumáticos se clasifican en dos grandes grupos: cilindros neumáticos y motores neumáticos. [2] El actuador neumático más visto en las industrias es el cilindro neumático, es un mecanismo que transforma la energía acumulada por un fluido a presión, en movimiento y/o fuerza, su empleo cada vez es más difundido hace que se constituya en un elemento de vital importancia en una máquina, dispositivo o accionamiento, implica un mayor rendimiento, larga vida útil y bajo costo de mantenimiento. De acuerdo con función existen dos tipos fundamentales; cilindro de simple efecto: solo pueden efectuar trabajo en una dirección, es decir solo necesita de una señal para actuar y cuando dicha señal está ausente retorna su estado de reposo; mientras los cilindros de doble efecto: efectúan trabajo en ambas direcciones, es decir necesita de una señal para actuar y otra para retornar su estado de reposo.

Los actuadores hidráulicos obtienen su energía de un fluido a presión, generalmente algún tipo de aceite mineral. Los actuadores hidráulicos se clasifican en tres grandes grupos: cilindros hidráulicos, motores hidráulicos y válvulas hidráulicas. La principal ventaja de estos actuadores es su relación potencia/peso. [4]

Los actuadores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica rotacional. Podemos encontrar tres grandes grupos de actuadores eléctricos: motores de corriente continua, motores de corriente alterna y motores de paso a paso. [2] Los actuadores eléctricos más

utilizados en la industria son los motores eléctricos, los cuales se definen como máquinas eléctricas rotativas capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, por medio de acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas, las maquina eléctricas rotativas están compuestas por una parte fija llamado estator y una parte móvil llamada rotor.

Tabla 2-1. Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas en cada tipo de actuador.

Tipo de actuador	Ventajas	Desventajas
<b>Neumáticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo</li> <li>• Rapidez</li> <li>• Sencillos</li> <li>• Robustos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren de instalaciones especiales</li> <li>• Ruidosos</li> </ul>
<b>Hidráulicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rápidos</li> <li>• Alta capacidad carga</li> <li>• Presentan estabilidad frente a cargas estáticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren instalaciones especiales</li> <li>• Son de difícil mantenimiento</li> <li>• Resultan poco económicos</li> </ul>
<b>Eléctrico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisos y fiables</li> <li>• Silenciosos</li> <li>• Su control es sencillo</li> <li>• Son de fácil instalación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia limitada</li> </ul>

### 2.2.2. Pre-actuadores.

Es importante mencionar los pre actuadores ya que son los elementos que hacen de interfaz entre la señal de salida desde la parte de control hacia el actuador; lo más usuales son:

- Las válvulas accionadas de forma neumática (neumática).
- El relé y contactor (eléctrica).

Las válvulas son elementos que tiene como finalidad mandar o regular la puesta en marcha o el paro del sistema, el sentido de flujo, así como la presión o el caudal del flujo procedente del dispositivo regulador. Las válvulas pueden ser accionadas de diferentes maneras: manual, mecánico, neumático o eléctrico. El primero se hace mediante pulsador, palanca o pedal. El mecánico se efectúa por medio de una leva, muelle o rodillo. El accionamiento neumático se utiliza aire comprimido del mismo circuito o de otro auxiliar para maniobrar la posición de la válvula. El accionamiento eléctrico se efectúa con la fuerza que se provoca al hacer pasar una corriente eléctrica alrededor de una bobina con un núcleo de hierro desplazable en su interior (electroválvulas).

El relé y contactor son componentes parecidos y que tienen la capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a larga distancia; pero con una diferencia esencial, que los relés son para comandar pequeñas potencias, es decir potencias de control y suelen representarse con la letra R; mientras los contactores son utilizados para comandar potencias mayores y suelen representarse con la letra Km seguido de un número que los identifica, según norma IEC947-4.

### 2.2.3. Sensores.

La Automatización Industrial es posible gracias a la unión de distintas tecnologías, por ejemplo, la instrumentación que a partir de los sensores nos permite medir variables físicas de la materia en sus diferentes estados (eso quiere decir que medimos variables como el volumen, el peso, la presión etc.), los sensores nos indican en forma indirecta lo que está sucediendo con el proceso, es decir el estado en el que se encuentra en un momento determinado.

Por último, los sensores son una pieza importante en la automatización, dado que están diseñados para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que sea fácil de cuantificar y manipular; los sensores se pueden clasificar de acuerdo al tipo de señal de salida, al tipo de parámetro de variable y según el tipo de variable física o química a medir.

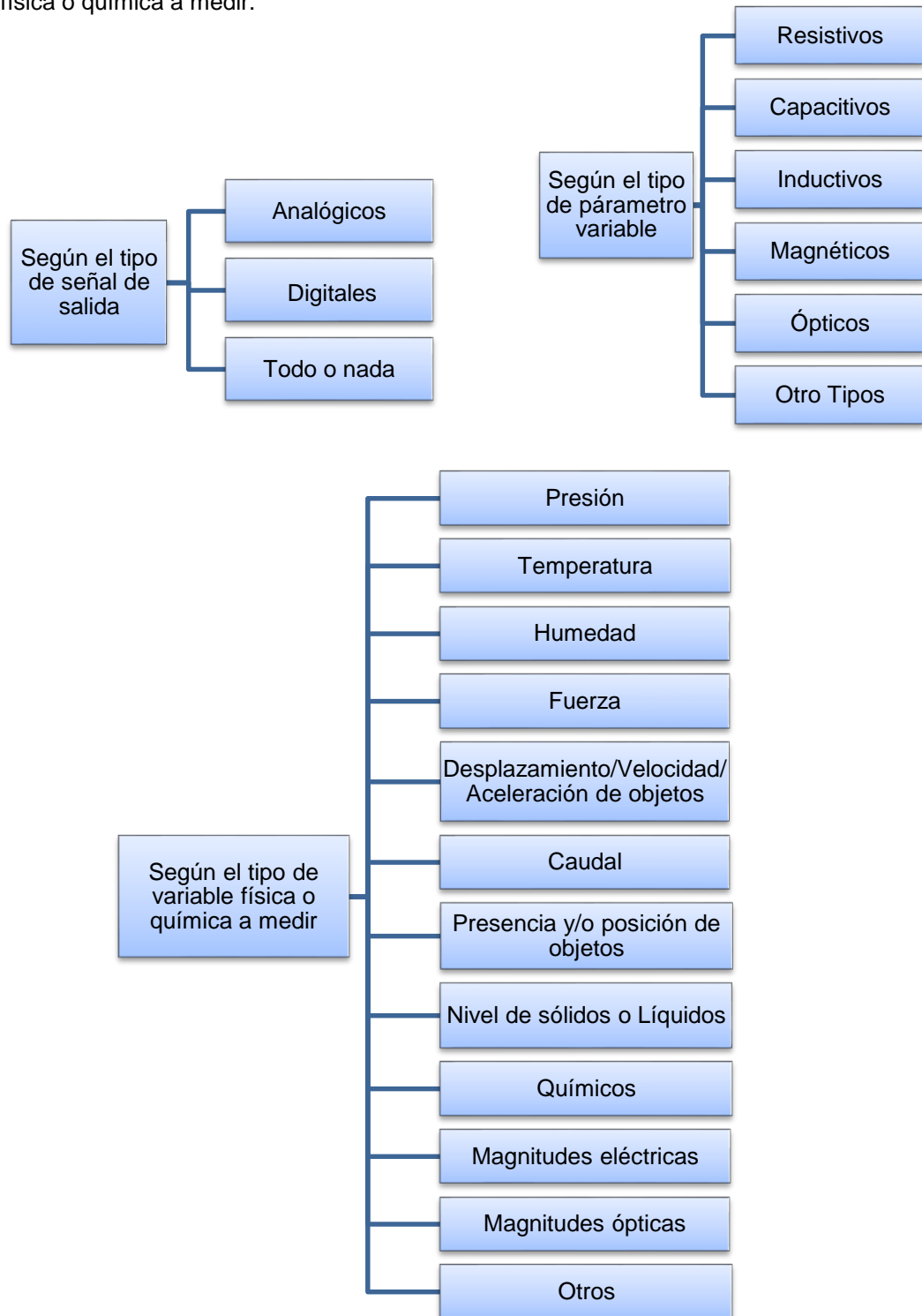


Figura 2-3. Criterios de clasificación comunes de los sensores.

Dentro de cada una de estas clasificaciones existen sus propias subcategorías. Dependiendo del tipo de señal de salida, por ejemplo, un sensor puede ser analógico o digital. Los sensores analógicos entregan como salida un voltaje o una corriente continuamente variable dentro del campo de medida especificado. Los rangos de voltaje de salida son muy variados, siendo los más usuales +10v, +5v,  $\pm 10v$ ,  $\pm 5v$  y  $\pm 1v$ . Los rangos de corriente de salida están más estandarizados, siendo actualmente el más común el de 4 a 20 mA, donde 4 mA corresponde a cero en la variable medida y 20 mA a la escala plena. También existen sensores con rangos de salida de 0 a 20mA y de 10 a 50 mA, mientras que los sensores digitales proporcionan una señal codificada en pulsos o sistemas binario, BCD (Binary-Coded Decimal o Decimal codificado), etc.

Entre los muchos sensores que existen se hará énfasis en:

- Sensor de nivel por radar guiado.
- Sensor de proximidad inductivo.

La medición de niveles por radar guiado se adapta bien a líquidos y sólidos granulados, donde la condición de la superficie del producto es de mínima relevancia debido al guiado seguro de las ondas reflejadas, este funciona con pulsos de radar de alta frecuencia que se emiten y guían a lo largo de la sonda. Cuando el pulso llega a la superficie del producto, se refleja una parte debido a su cambio de valor de la constante dieléctrica relativa, el tiempo de vuelo entre que se emite y recibe el pulso es medido y analizado por el instrumento, y constituye una medición directa de la distancia entre la conexión a proceso y la superficie del producto.

Un sensor de proximidad inductivos solo puede detectar objetos metálicos que se acercan al sensor, sin tener contacto físico con los mismos. No detectan objetos no metálicos, tales como plástico, madera, papel y cerámica. A diferencia de los sensores fotoeléctricos, esto permite que un sensor de proximidad inductivos pueda detectar un objeto de metal a través de plástico opaco. Dado que estos sensores sólo detectan objetos metálicos, la detección no se ve afectada por el polvo acumulado o salpicadura de aceite sobre el cabezal.

#### 2.2.4. Controladores.

Los Controladores Lógicos Programables o por sus siglas PLC se encargan de controlar que todo tenga una secuencia, toma decisiones de acuerdo a una programación pre establecida, se encarga de que el proceso cumpla con una repetición, a esto debemos añadir otras tecnologías como el vacío, la robótica, telemetría y otras más.

##### 2.2.4.1. Lógicas de Control.

En función de las tecnologías empleadas para la implementación del sistema de control, se clasifican en sistemas de Lógica Cableada y sistemas de Lógica Programada. [5]

###### 2.2.4.1.1. Lógica Cableada.

Se implementan por medio de conexiones físicas entre los elementos que forman el sistema de control, por ejemplo, si los elementos son de origen eléctrico se realizan conexiones entre contactores y relés unidos entre sí por cables eléctricos. La estructura de conexionado entre los distintos elementos da lugar a la función lógica que determina las señales de salida en función de las señales de entrada [5].

Este tipo de sistemas es bien aceptado entre los desarrolladores de automatismos para la creación de sistemas de baja complejidad. Sin embargo, presenta grandes dificultades especialmente cuando se requiere el desarrollo de sistemas robustos, ya que no facilita la integración de funcionalidad aritmética, limita el control de la ejecución de instrucciones, reduce

la creación de secuencias complejas y la conducción y manipulación de estructuras de datos y presenta una deficiencia para la realización de programas estructurados y jerárquicos.

#### 2.2.4.1.2. Lógica Programada

Se implementan por medio de un programa que se ejecuta en un programador. Las instrucciones de este programa determinan la función lógica que relaciona las entradas y las salidas. Se pueden distinguir 3 formas de implementación [5]:

Controlador Lógico Programable PLC. Hoy por hoy es el que más se utiliza en la industria. Es un equipo electrónico programable en un lenguaje específico, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial procesos secuenciales. Se utilizan para el control de máquinas y procesos en la cual se implemente funciones lógicas como series, paralelos, contadores, temporizadores y otros más potentes cálculos, regulaciones, etc.

Ordenador (PC industrial). Cada vez se utilizan más. Son ordenadores compatibles con los PC de sobremesa en cuanto a software, pero cuyo hardware está especialmente diseñado para ser robusto en entornos industriales.

Microcontrolador. Son circuitos integrados ("chips") programables, que incluyen en su interior un microprocesador y la memoria además de los periféricos necesarios. Para utilizarlos, normalmente se diseña una tarjeta electrónica específica para la aplicación.

Las industriales tienden a hacer mayor uso en procesos de los Controladores Lógicos Programables PLC, por su diseño para ambientes de tipo industrial y para controlar procesos en tiempo real, logrando cada vez que sus procesos sean más eficientes; haciendo uso además de las normas y guías con fin de tener procesos con mayores estándares de calidad por lo tanto es cada vez más común que las industrias automaticen sus procesos de producción.

La automatización de cualquier proceso industrial debe contemplar todos los posibles estados en los que se puede encontrar el proceso. No solamente el funcionamiento automático, también se deben considerar las situaciones de parada de emergencia, fallo, rearme y puesta en marcha, control manual, marchas de test, entre otros.

La programación de estos estados utiliza una metodología sistematizada y estructurada ofreciendo información precisa del sistema. Un ejemplo de estas metodologías es GEMMA (Guía de estudio de los modos de marcha y parada), la cual es una guía para el estudio sistemático de todos los modos o estados en que se puede encontrar un proceso de producción automatizado.

### 2.3. Guía GEMMA (Guía de los Estudios de Marcha y Parada de los Sistemas Automatizados)

Los procesos industriales tienden a ser cada vez más eficientes y con mayores estándares de calidad por lo tanto es cada vez más común que las industrias automaticen sus procesos de producción.[5] Este auge ha llevado a los investigadores a desarrollar metodologías estandarizadas para el desarrollo, la implementación y validación de los sistemas automatizados, una de estas metodologías se conoce como la guía GEMMA (la cual representa de forma organizada todos los modos o estados de Marcha y Paradas en que se puede encontrar un proceso de producción automatizado y orienta sobre los saltos o transiciones que pueden darse de un estado a otro), considerando todos los posibles escenarios de funcionamiento, parada y posibles fallos, los cuales, desde finales de los setenta han sido de especial interés no solo en aspectos de funcionamiento normal, sino en situaciones de puesta en marcha, rearme, paradas,



marchas de prueba, control manual, situaciones de fallo y actualmente sistemas de redes de comunicación y aplicaciones Web.

En un proceso productivo una máquina no está siempre funcionando en modo automático, pueden surgir problemas que, por ejemplo, conlleven a una parada inmediata de la máquina o proceso. [6]

En la automatización de una máquina es necesario prever todos los estados posibles: funcionamiento manual o semiautomático, paradas de emergencia, puesta en marcha y además, el propio automatismo debe ser capaz para detectar defectos en la parte operativa y colaborar con el operario o técnico de mantenimiento para su puesta en marcha y reparación, entre otras.

La agencia ADEPA (*Agence nationale pour le Développement de la Production Appliquée à l'industrie*) desarrollo la guía GEMMA (*Guide d'Etudes des Modes de Marches et d'Arrêts*), se trata de una representación organizada de todos los modos o estados de Marcha y Paradas en que se puede encontrar un proceso de producción automatizado y orienta sobre los saltos o transiciones que pueden darse de un estado a otro.

Un automatismo consta de dos partes fundamentales: el sistema de producción y el control del mismo (ordenador, autómata programable). El sistema de producción puede encontrarse en tres situaciones, en las cuales el sistema puede estar o no produciendo:

- Funcionando, por lo tanto, está en producción.
- Parado, o en proceso de parada.
- En defecto, circunstancias en las cuales o bien el producto derivado no es aprovechable o lo es, si se manipula adecuadamente a posteriori.

El gráfico GEMMA muestra estas cuatro situaciones (control sin alimentación, funcionamiento, parada y defecto) con rectángulos grises y un quinto rectángulo, marcado en líneas discontinuas, que indica que el sistema productivo está en producción.

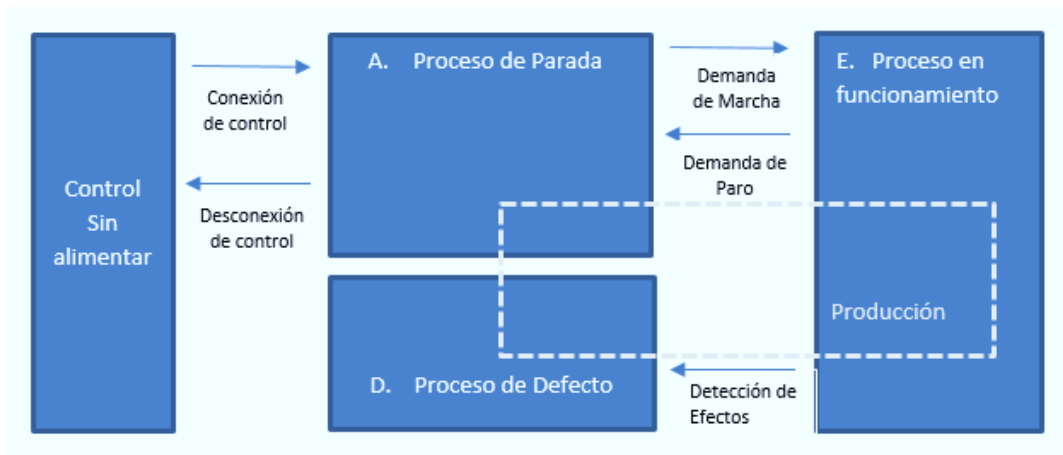


Figura 2-4. Modos de funcionamiento guía GEMMA.

Cada una de estas situaciones se subdivide de forma que al final la guía GEMMA presenta 17 estados de funcionamiento posible.

### 2.3.1. Grupo F. Procedimientos de funcionamiento

F1 - Producción normal. Estado en que la máquina produce normalmente. Es el estado más importante y en él se deben realizar las tareas por las cuales la máquina ha sido construida.

F2 - Marcha de preparación. Son las acciones necesarias para que la máquina entre en producción (precalentamiento, preparación de componentes).

F3 - Marcha de cierre. Corresponde a la fase de vaciado y/o limpieza que en muchas máquinas debe llevarse a cabo antes de la parada o del cambio de algunas de las características del producto.

F4 - Marchas de verificación sin orden. En este caso la máquina, normalmente por orden del operario, puede realizar cualquier movimiento o unos determinados movimientos preestablecidos. Es el denominado control manual y se utiliza para funciones de mantenimiento y verificación.

F5 - Marchas de verificación con orden. En este caso la máquina realiza el ciclo completo de funcionamiento en orden, pero al ritmo fijado por el operador. Se utiliza también para tareas de mantenimiento y verificación. En este estado la máquina puede estar en producción. En general, se asocia al control semiautomático.

F6 - Marchas de test. Sirve para realizar operaciones de ajuste y mantenimiento preventivo, por ejemplo: comprobar si la activación de los sensores se realiza en un tiempo máximo, curvas de comportamiento de algunos actuadores.

### 2.3.2. Grupo A. Procedimiento de paradas y puestas en marcha

A1 - Paradas en el estado inicial. Se corresponde con el estado de reposo de la máquina. La máquina normalmente se representa en este estado en los planos de construcción y en los esquemas eléctricos.

A2 - Parada solicitada al final del ciclo. Es un estado transitorio en que la máquina, que hasta el momento estaba produciendo normalmente, debe producir solo hasta acabar el ciclo y pasar a estar parada en el estado inicial.

A3 - Parada solicitada en un estado determinado. Es un estado en que la máquina se detiene en un estado determinado que no coincide con el final del ciclo. Es un estado transitorio de evolución hacia A4.

A4 - Parada obtenida. Es un estado de reposo de la máquina distinto al estado inicial.

A5 - Preparación para la puesta en marcha después de un defecto. Es en este estado donde se procede a todas las operaciones, de: vaciado, limpieza, reposición de un determinado producto, necesarias para la puesta de nuevo en funcionamiento de la máquina después de un defecto.

A6 - Puesta del sistema en el estado inicial. En este estado se realiza el retorno del sistema al estado inicial (reinicio). El retorno puede ser manual (coincidiendo con F4) o automático.

A7 - Puesta del sistema en un estado determinado. Se retorna el sistema a una posición distinta de la inicial para su puesta en marcha, puede ser también manual o automático.

### 2.3.3. Grupo D. Procedimientos de defecto

D1 - Parada de emergencia. Es el estado, que se consigue después de una parada de emergencia, en donde deben tenerse en cuenta tanto las paradas como los procedimientos y precauciones necesarias para evitar o limitar las consecuencias debidas a defectos.

D2 - Diagnóstico y/o tratamiento de fallos. Es en este estado que la máquina puede ser examinada después de un defecto y, con ayuda o sin del operador, indicar los motivos del fallo para su rearme.

D3 - Producción a pesar de los defectos. Corresponde a aquellos casos en que se deba continuar produciendo a pesar de los defectos. Se incluye en estas condiciones casos en que, por ejemplo, sea necesario finalizar un reactivo no almacenable, en que se pueda substituir transitoriamente el trabajo de la máquina por la de un operario hasta la reparación de la avería.

Además de los procedimientos de funcionamiento, la guía GEMMA muestra, en líneas discontinuas, los caminos que permiten evolucionar de un estado a otro. Para no complicar el gráfico solo se presentan los caminos más usuales y será tarea del diseñador añadir los caminos necesarios para cada aplicación en particular. En algunos casos hay algunas flechas sin procedencia, se utilizan para indicar que puede accederse a este estado desde todos los demás. Como ya se ha indicado, la guía GEMMA es un gráfico de soporte al diseñador de automatismos. El procedimiento a seguir en su utilización consiste en:

Estudiar los estados necesarios de la máquina a automatizar, anotando en cada uno de los rectángulos la descripción correspondiente y posibles variantes, si las hay. Aquellos estados que no serán utilizados se marcan con una cruz, indicando así que no se han considerado.

Estudiar entre que estados será posible la evolución. La guía permite mostrar de forma gráfica todos los caminos deseados, marcando estos con una línea continua.

Finalmente, de forma parecida a como se indican las transiciones en GRAFCET, se marcan las condiciones necesarias para poder seguir un determinado camino. En algunas ocasiones un determinado camino no tiene una condición específica o determinada, en este caso puede no ponerse indicación o es posible utilizar la condición que la acción anterior sea completa.

#### 2.3.4. Metodología a seguir en la implementación de un automatismo

La guía además presenta una metodología que tiene como objetivo el diseño y la implementación de un automatismo a nivel industrial, teniendo en cuenta todos los posibles escenarios que se pueden presentar en el funcionamiento del proceso automatizado, la metodología se basa en la aplicación de 11 instrucciones en forma secuencial, las cuales se identificadas con la letra E (E1-E11) y que van desde la determinación de los aspectos básicos del proceso a automatizar, pasando por el diseño de automatismo hasta llegar a la implementación. A continuación, se describen las instrucciones del método.

E1 - Determinar los aspectos generales del proceso y generar el GRAFCET de producción de primer nivel (descriptivo).

E2 - Determinar los elementos del proceso y seleccionar los detectores, indicadores y actuadores necesarios.

E3 - Representar el GRAFCET de producción de segundo nivel (tecnológico y operativo).

E4 - Estudiar los diferentes estados de GEMMA para determinar que estados son necesarios en el automatismo y realizar su descripción.

E5 - Definir sobre GEMMA los caminos de evolución entre los distintos estados.

E6 - Diseñar los elementos que componen el pupitre del operador y su ubicación.

E7 - Definir sobre GEMMA las condiciones de evolución entre los distintos estados.

E8 - Preparar el GRAFCET completo de segundo nivel a partir del de producción representado antes y de la GEMMA.

E9 - Escoger la tecnología de control: número de autómatas programables, tipo de entrada y salidas, reguladores industriales, bus de comunicación.

E10 - Representar el GRAFCET de tercer nivel concreto (a nivel de autómata).

E11 - Instalación, implementación, puesta a punto y pruebas

## 2.4. SISTEMAS SCADA

Los sistemas SCADA, o Supervisory Control and Data Acquisition (supervisión, control y adquisición de datos), es decir, un sistema de supervisión, control y adquisición de datos que controla y gestiona todos los procesos de producción de una empresa. Es eficiente y adaptable, ya que puede monitorear cualquier tipo de operación. Maneja de manera eficiente los indicadores, la visualización de la planta operaria y la interacción de los procesos gestionados, desde un espacio intuitivo. En otras palabras, son aplicaciones de software diseñadas especialmente para gestionar los datos de productividad de una empresa, con el fin de mostrar información en tiempo real de todas las variables dentro del proceso de automatización y desarrollo.

Dentro de las funciones de SCADA, se destacan:

Monitorear: revisión constante de los procesos, desde el inicio hasta el final de la operación.

Gestionar: recopilación permanente de datos que permiten al usuario entender el interés de evaluación de procesos.

Controlar: interpretación de datos que identifican puntos a mejorar o a modificar, con el fin de ejecutar de la manera más adecuada los procesos de control de calidad.

Administrar: organización de datos, almacenamiento, análisis de resultados y automatización de los procesos existentes.

Revisar: verificación del sistema dentro del contexto de producción, el cual guarda el historial de los procesos, con el fin de analizar detalladamente las tareas realizadas, utilizando herramientas como el generador de Informes.

Un sistema SCADA es una opción ideal de automatización de procesos industriales, ya que su interfaz regulada provee y controla toda la información que ayuda a entender los aspectos esenciales de las variables estipuladas por la empresa.

## 2.5. ESTADO DEL ARTE

La automatización de los procesos industriales se establece como una herramienta fundamental que permite a las empresas un desarrollo propio, dinámico y competitivo, facilitando la relación entre las diferentes áreas de la organización o empresa. Por lo que es muy importante encontrar una buena metodología o procedimiento adecuado y eficaz, que permita a la industria, automatizar sus procesos.

Los pasos por seguir para aplicar una buena metodología son: descripción del sistema, diagrama de flujo, descripción de los equipos del sistema, requerimientos del cliente, selección del autómatas programable, programación del PLC. [8]

A. Paso No. 1 (Descripción del sistema). Para llevar a cabo la descripción del sistema o proceso se requiere recabar la siguiente información: procedimiento que se debe seguir en la operación (arranque, paro), dispositivos que intervienen en el proceso (sensores, transductores, motores, variadores, etc.), variables a medir, variables a controlar, variables a monitorear, rangos de operación, función de los dispositivos, entradas y salidas. Esta actividad se lleva a cabo mediante entrevistas con los operadores y encargados del mantenimiento del proceso, visitas de campo y la experiencia del integrador.

B. Paso No. 2 (Diagrama de flujo). Un diagrama de flujo es una representación gráfica de los pasos en un proceso. Dicho diagrama es útil para determinar cómo funciona realmente el proceso. El diagrama se utiliza en gran parte de las fases del proceso de mejora continua, sobretodo en definición de proyectos, diagnóstico, diseño e implantación de soluciones, mantenimiento de las mejoras, traslado de materiales, pasos para ventas y procedimientos del proceso.

C. Paso No. 3 (Descripción de los equipos del sistema). Aquí se agrupan todos los dispositivos que intervienen en el proceso, se describe bien su función e identifica las entradas y salidas del sistema. Esto ayuda a conocer con mayor detalle el sistema y las funciones para los cuales fueron diseñados los dispositivos. Además, sirve para conocer más a detalle el proceso y entenderlo mejor; es decir, tener una amplia visión para la siguiente etapa.

D. Paso No. 4 (Requerimientos del cliente). Estos se obtienen, de las entrevistas realizadas con los operadores y jefes de mantenimiento, los cuales indican características de operación, características de los equipos, rango de operación y en algunos casos el rango del costo de los equipos a utilizar.

E. Paso No. 5 (Selección del autómatas programable). Para llevar a cabo la selección del autómatas se deben de realizar dos evaluaciones, una para seleccionar el tipo de autómatas y la otra para seleccionar la marca, esto debido a las diferentes opciones que brinda el mercado actualmente.

F. Paso No.6 (Programación del PLC). Formalmente la programación del PLC se puede realizar bajo los lenguajes establecidos en la norma IEC 61131-3 sin embargo antes de esta programación es recomendable hacer un modelado y representación del sistema mediante redes de Petri o diagrama GRAFCET (Gráfico de mando etapa transición), estas metodologías permiten: modelar, visualizar, analizar, simular y poner a punto el sistema automatizado, teniendo en cuenta todos posibles estados del sistema, las evoluciones entre estos, contingencias, arranques y paradas. Una vez se tenga una red de Petri o diagrama GRAFCET funcional del sistema esta se debe implementar en el PLC empleando uno de los lenguajes de programación estandarizados.

Como se puede verificar en la sección anterior (2.3.4) los pasos descritos para realizar una automatización [8], son similares a la aplicación de la guía GEMMA, por lo tanto, se empleará esta última en el desarrollo del trabajo. Teniendo como referencia varios proyectos que se mencionan a continuación.

Las mejoras continuas, evidencian nuevas necesidades para satisfacer cada vez más el exigente y competitivo mercado; está comprobado que una de las estrategias más efectivas para el mejoramiento de la productividad consiste en la tecnificación y automatización de los procesos industriales mediante la apropiación de nuevas tecnologías. A nivel internacional se encuentra en el estado del arte una buena cantidad de proyectos e investigaciones que nos sirven como referencia para nuestra propuesta, entre estos en 2015 Beleña [10], diseño e implemento el desarrollo de una planta prototipo de fresado, taladrado y clasificado de piezas de forma

automatizado, mediante el uso de autómatas, comunicaciones y una interfaz SCADA, permitiendo el control y monitorización clara y concisa del sistema, dicho prototipo podrá ser adaptado y utilizado en cualquier sistema industrial.

De igual forma se encuentra buena cantidad de proyectos e investigaciones a nivel nacional, un ejemplo de estos, en 2009 Gómez. [11], implemento el diseño de un sistema de supervisión remoto SCADA y un controlador lógico programable PLC por medio del protocolo de comunicación; ya que los sistemas de monitoreo y administración remota han pasado de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta indispensable para competir en el mercado globalizado, logrando así poder controlar la temperatura del agua en un intercambiador de calor. Con esto, reducir el espacio físico, tener un registro detallado en tiempo real y principalmente obtener un acceso remoto del proceso desde cualquier lugar con capacidad de manipularlo.

La Universidad Tecnológica de Pereira no ha sido ajena a estas líneas de investigación, donde se puede resaltar los siguientes trabajos.

En 2014 López et al. [12], diseñaron un sistema de control basado en la norma GEMMA con el fin de dar cumplimiento con los estándares de calidad, mediante indicadores en los ciclos de operación, logrando verificar el estado actual del proceso y permitiendo enriquecer el diseño automatizado de una manera práctica y confiable; además utilizaron el software de Tía Portal, como una implementación para obtener un ambiente SCADA, logrando monitorear y controlar en tiempo real de forma remota o mediante una interfaz HMI de manera local en el sistema.

En 2014 Sánchez [13], realizó la recuperación de un soldador por costura, equipo de suma importancia para la compañía Magnetrón S.A.S, implementando de forma automatizada la parte eléctrica de dicho equipo, enfatizando que la prioridad máxima de la automatización es la seguridad, donde el sistema debe evolucionar a un estado seguro ante una situación de fallo o parada de emergencia, lo cual es posible lograr usando los modos fundamentales de la guía GEMMA, entre ellos se enfatizó: 1. Proceso en funcionamiento, 2. Proceso en parada o puesta en marcha, 3. Proceso en defecto.

## 2.6. PLAN DE MEJORAMIENTO

Un plan de mejoramiento es un conjunto de acciones planeadas, organizadas, integradas y sistematizadas que implementa la organización para producir cambios en los resultados de su gestión, mediante la mejora de sus procedimientos y estándares de servicios.

Por tanto, la industria en los últimos años se ha esforzado por mejorar continuamente sus procesos a través del trabajo en equipo y los círculos de calidad que permiten crear la conciencia de mejorar los resultados del proceso por medio de planes de mejoramiento y acciones que contribuyan al fortalecimiento de la empresa. La mejora continua implica alistar a todos los miembros de la empresa en una estrategia destinada a mejorar de manera sistemática los niveles de calidad y productividad, reduciendo los costos y tiempos de respuestas, mejorando los índices de satisfacción de los clientes y consumidores, para de esa forma mejorar los rendimientos sobre la inversión y la participación de la empresa en el mercado

De acuerdo a lo anterior y luego de un estudio y análisis del proceso de producción por parte de un grupo conformado por el departamento de Mantenimiento Eléctrico (incluidas las áreas de mantenimiento eléctrico e instrumentación), se evidencia que el subproceso de empaclado es factible para desarrollar e implementar un plan tendiente a la automatización de éste. Está oportunidad de mejoramiento ya había sido evidenciada en estudios anteriores y se intentó dar solución mediante la instalación de sensores de nivel en los silos de empaclado, los cuales envían la información del nivel al cuarto de control, sin embargo estas señales sólo se emplean para la visualización más no para el control en forma automatizada, otra dificultad es que los sensores

de nivel se encuentran instalados en sólo 3 de los 7 silos de empacado. Adicional a ello y revisando la operación diaria de la línea de producción, se encuentra otra importante mejora en la parte final del subproceso de refinería, la cual implica una operación más segura de cada uno de los equipo que compete dicha línea, esto mediante un sensor en el eje de cola en cada equipo que le permita al operador tener plena confianza de la operación de los equipos, además del sistema de enclavamientos que ya está implementado, en otras palabras una confirmación de operación física de cada equipo a lo largo de toda la línea de producción, es de allí de donde surge la idea de plantear la propuesta y diseño de automatización de la parte final del subproceso de refinería y del subproceso de empacado de la línea de producción de azúcar refinada, pudiendo así evitar errores humanos, mejorar tiempos de producción y lograr la estandarización del proceso, en miras de ser una empresa de categoría mundial.

## CAPÍTULO 3

### 3. MARCO EXPERIMENTAL

A continuación, se describen la metodología a seguir en la implementación de un automatismo

#### 3.1. E1. Aspectos generales del proceso GRAFCET de producción de primer nivel (descriptivo).

Se desea automatizar el proceso de la línea de producción de azúcar refinada del Ingenio Risaralda, el cual está especificado de la siguiente manera:

##### 3.1.1. Primera parte

El proceso a automatizar inicia en las centrifugas titán, que entregan el producto (azúcar refinada húmeda) a la banda central, la cual la transporta hasta un pequeño sinfín que le lleva a el elevador de cangilones N° 1 o N° 2 el, dependiendo del que se encuentre en operación, posteriormente es entregada a un sinfín que la transporta hasta una pequeña tolva, que en su parte inferior tiene otro pequeño sinfín que transporta el producto hasta un chute, el cual tiene una válvula rotativa que permite el paso por gravedad a la secadora Mause, esta cuenta con unas especificaciones de temperatura que permiten el secado de la azúcar, luego pasa por otra válvula rotativa con el fin de caer a la banda 119 para transportar el producto seco hasta la banda 120, hasta llegar a un elevador de azúcar seco, el cual entrega el producto a la clasificadora N° 1 (también llamada Rotex) encargada de realizar un tamizado del producto, continua luego por la Rotex N° 2 para un segundo tamizado y de allí es entregado por gravedad a un sinfín de silos (silos del 1 a 4) y luego a otro sinfín de silos (silos del 5 a 7); en estos dos sinfines se cuenta con 7 posibles válvulas para elegir el silo que se desea empacar. Todos los equipos mencionados anteriormente son los equipos necesarios para iniciar la purga.

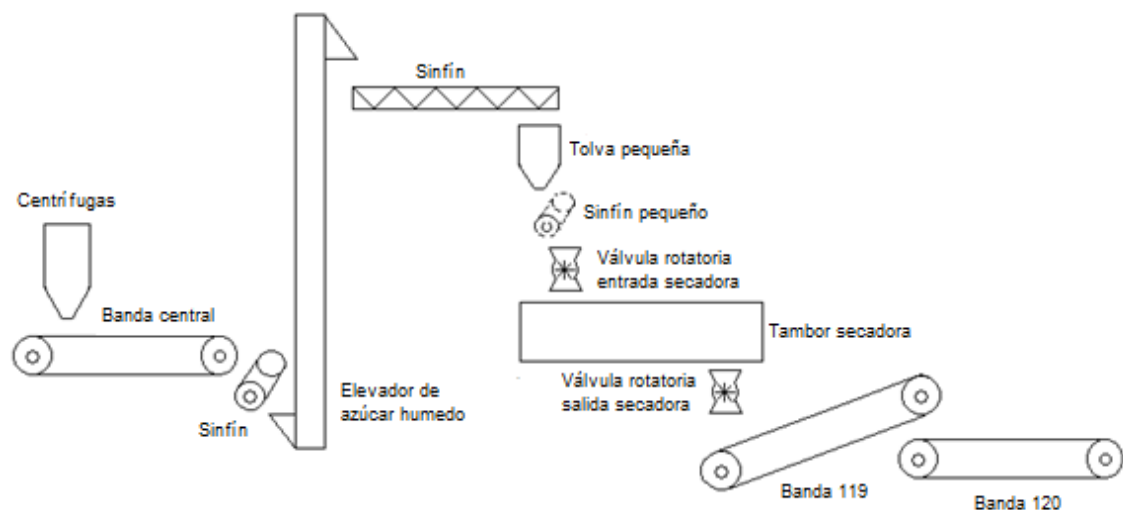


Figura 3-1. Esquema gráfico. Inicio del proceso.

### 3.1.2. Segunda parte

Por otro lado en la parte inferior del silo se encuentra una válvula, permitiendo el paso del azúcar a una banda llamada banda bajo silos, luego pasa por un tambor separador de metales, éste, entrega el producto a uno de los dos posibles elevadores de cangilones ubicados en el área de empaclado, permitiendo que la azúcar suba y caiga a un clasificador de terrones, donde se separa el grano a empaclar del grano rechazado, (en este último caso es entregado a la tolva de rechazo de la Rotex) luego por gravedad pasa por una veleta magnética o separador magnético de caída libre (accionada por un cilindro, que tiene un controlador independiente), la cual se activa si detecta algún metal en el producto y lo dirige por unos segundos a un silo de rechazo del separador magnético de caída libre; ahora bien si no se activa la veleta, el producto cae en una tolva, dicha tolva cuenta en su parte inferior con una válvula la cual permite el paso a la báscula ensacadora; esta entrega el saco o bulto de azúcar empaclado, el saco es transportado por la banda N° 8, donde en su recorrido es cosido y contado, luego entregado a la banda N° 7 hasta llegar a un detector de metales en forma de túnel, pasa por allí y continua su trayecto por una banda curva, la cual entrega el saco a otras seis banda continuas, la última banda cuenta con otro sistema de conteo con el fin de confirmar que el producto empaclado fue el mismo entregado al área de logística de distribución, donde los sacos son transportados desde la última banda hasta las estiba por los cargadores, cuando se llena por completo la estiba, son llevadas a la bodega de almacenamiento, por medio de un carro cargador. Los equipos mencionados en la segunda parte son los equipos necesarios para iniciar el proceso de empaclado y los equipos de la banda N° 8 hacia atrás son los necesarios para realizar proceso de muestreo.



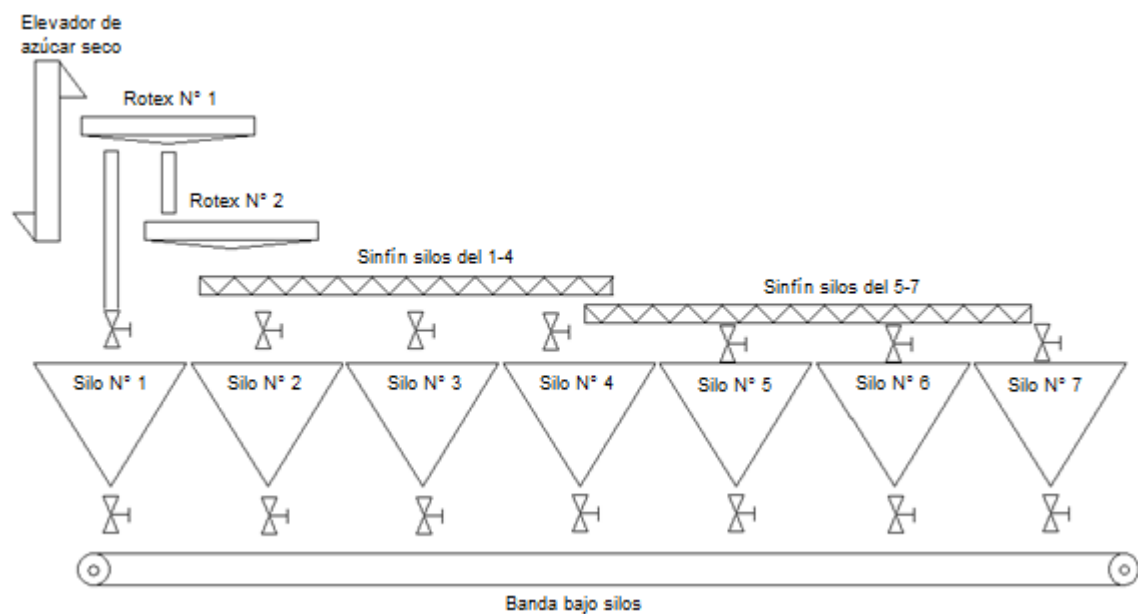


Figura 3-2. Esquema gráfico. Intermedio del proceso.

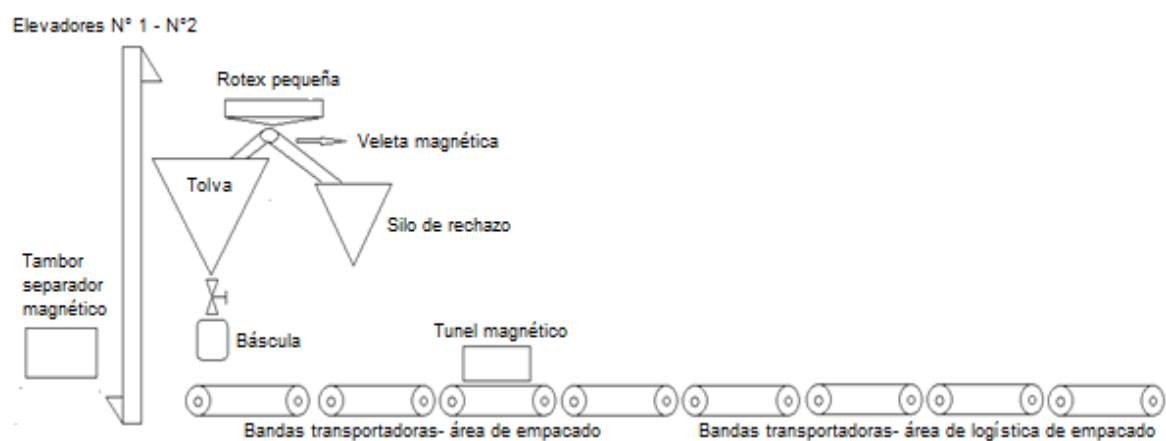


Figura 3-3. Esquema gráfico. Final del proceso.

### 3.1.3. GRAFCET de producción de primer nivel (descriptivo).

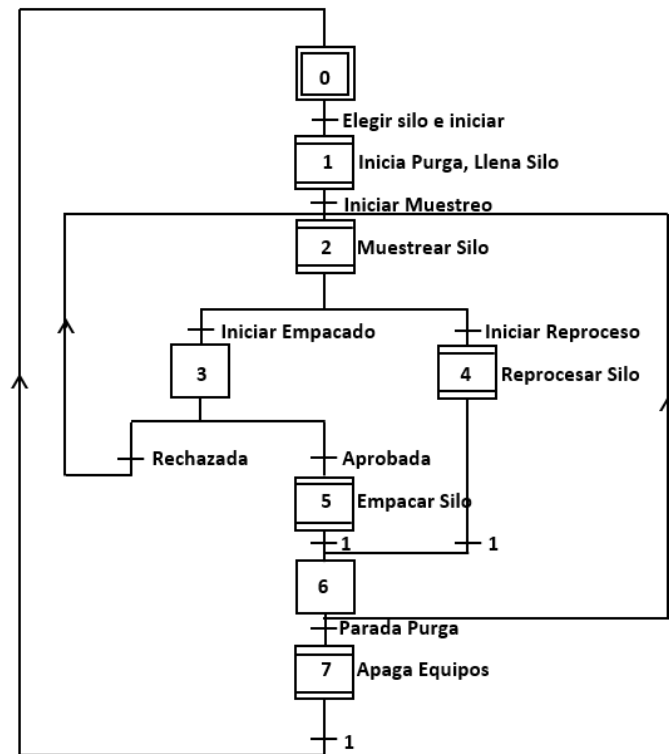


Figura 3-4. GRAFCET de primer nivel

### 3.2. E2. Condiciones del proceso, detectores, indicadores y actuadores necesarios

- El movimiento de las bandas, las válvulas rotativas, los elevadores, los sinfines además del tambor separador magnético en empackado y el tambor de la secadora Mause, se realizan a través de motores eléctricos y controlados por arrancadores directos.
- Si ocurre alguna falla eléctrica, que cause la salida de algún motor, se detiene la operación de ese motor y de los equipos anteriores por el enclavamiento eléctrico; dicha parada se indica de forma visual en el estado de cada equipo (ventana emergente).
- Todas las bandas, las válvulas rotativas, los elevadores, los sinfines y los tambores tendrán sensores de movimiento en sus respectivos ejes de cola (sensor inductivo), con el fin tener una señal de confirmación, la cual garantiza que el equipo físicamente está trabajando bien, de igual forma si algunos de los equipos se interrumpen mecánicamente pero no eléctricamente, (ejemplo: cuando se desacopla un motor y para la banda) se deberá parar todo el proceso aguas atrás e indicar el estado del equipo en falla en la pantalla.
- Los silos y las tolvas contarán con sensores de nivel, informando al operador el estado de los mismos en pantalla, se cuenta con siete silos destinados para diferentes calidades de producto de acuerdo al requerimiento del cliente.
- El orden de selección de los silos a llenar se realiza desde el silo N° 2 al silo N° 7 por parte del operador para iniciar el proceso de purga, accionando la válvula correspondiente a cada silo (válvulas on-off, las cuales son accionadas por electroválvulas y cuenta con un indicador de la posición de la válvula).
- El silo N° 1, es utilizado para un subproceso llamado separación de grano: donde se trata de llenarlo a la par con el silo que se esté empackando, por medio de la apertura de dos

válvulas on-off, que permiten el paso directo al silo 1 sin dejar de alimentar el silo que se esté empacando, esta acción se realiza con previa autorización del supervisor del área antes de inicia el proceso en caso contrario las válvulas permanecen cerradas y sólo es llenado el silo que se va empacar.

- En la segunda parte del proceso es decir en el área de empacado, la apertura de las válvulas bajo silos es manipulada por el empacador, para realizar el muestreo o para realizar el empacado, dichas válvulas son válvulas on-off.
- Los equipos del área del empacado: banda bajo silos, tambor separador magnético, elevadores, clasificador de terrones, banda N° 8 y la válvula de descarga del silo elegido; son inicializados con solo un pulso para iniciar el proceso de muestreo; el cierre de la válvula seleccionada se da cuanto el sensor de nivel de la tolva de empacado sea igual o mayor a 10%, esto con el fin de garantizar sólo 10 sacos o bultos empacados para el análisis del laboratorio.
- Cuando se tiene el aval de empacar por parte del laboratorio de azúcar, se acciona con un único pulso todas las bandas restantes y todos los equipos de la báscula ensacadora en adelante, los cuales también presentan sistema de enclavamiento y sensores de movimiento.
- El trabajo de los separadores magnéticos son procesos independientes (tambor magnético, detector caída vertical y túnel magnético), de los cuales sólo se debe tener en cuenta que el túnel magnético o detector de metales en forma de túnel se activa y envía una señal que para las dos bandas anteriores a él.
- Se percibirá una alarma visual en pantalla, cuando cualquiera de las tres tolvas del área de empacado (tolva de la báscula ensacadora ,tolva de rechazo de la Rotex o la tolva de rechazo del detector de metales de caída vertical) se encuentren en 90% de llenado y se presentará cierre de las válvulas bajo silos cuando dicho nivel supere el 95%, con el fin de que un operador actúe y vacíe la tolva en asunto, evitando regueros en el área y/o contaminación del producto; posteriormente se habilitará para continuar con el proceso cuando el nivel de la tolva que presentó la alarma sea inferior a 15%.
- Es importante mencionar que todos los equipos controlados por motores eléctricos, también tienen la opción de encender de forma manual e independiente desde su respectivo pupitre, cuando se requiera alguna intervención de mantenimiento o verificación puntual.

### 3.3. E3 – Representación GRAFCET de producción de segundo nivel (tecnológico y operativo).

A continuación, se presenta las macro-etapas 1, 2, 4 y 5 del GRAFCET principal:

Tabla 3-1. Nombres de variables utilizadas en las macro-etapas, GRAFCET segundo nivel.

Nombre variable	Variable
Encendido válvula de llenado	ON VLL
Apagado válvula de llenado	OFF VLL
Encendido válvula de descarga	ON VD
Apagado válvula de descarga	OFF VD
Encendido equipos para el proceso de purga	ON P
Encendido equipos para el proceso de muestreo	ON M
Apagado equipos para el proceso de muestreo	OFF M
Encendido equipos para el proceso de empacado	ON E
Apagado equipos para el proceso de empacado	OFF E
Encendido equipos para el proceso de reproceso	ON R
Apagado equipos para el proceso de reproceso	OFF R
Nivel del silo	NS
Parar muestreo	PM
Parar empacado	PE
Parar reproceso	PR

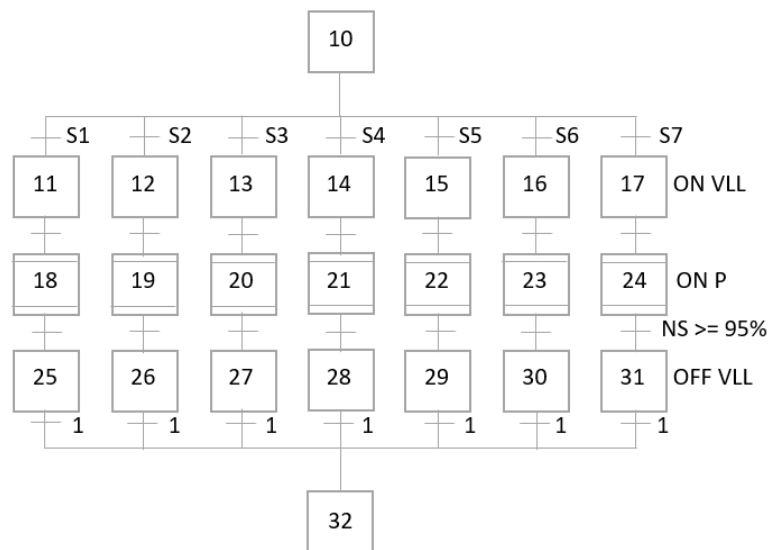


Figura 3-5. GRAFCET Segundo Nivel, correspondiente a la macro -etapa 1, Inicio de purga

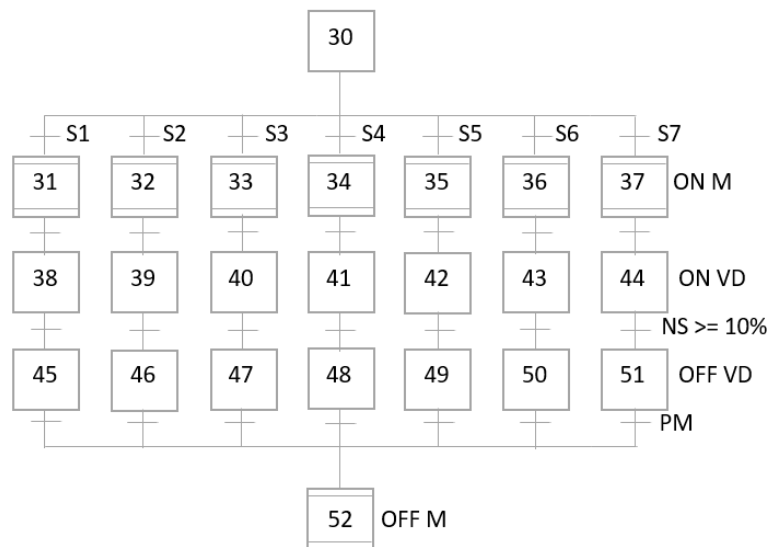


Figura 3-6. GRAFCET Segundo Nivel, correspondiente a la macro -etapa 2, Inicio Muestreo

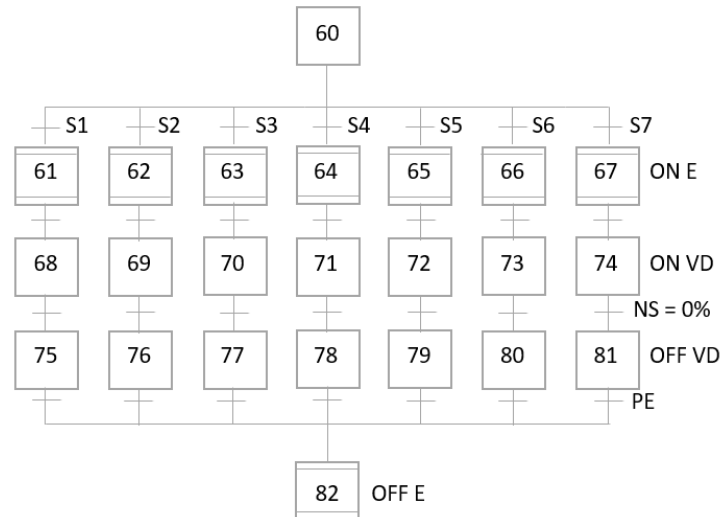


Figura 3-7. GRAFCET Segundo Nivel, correspondiente a la macro -etapa 4, Inicio Empacado

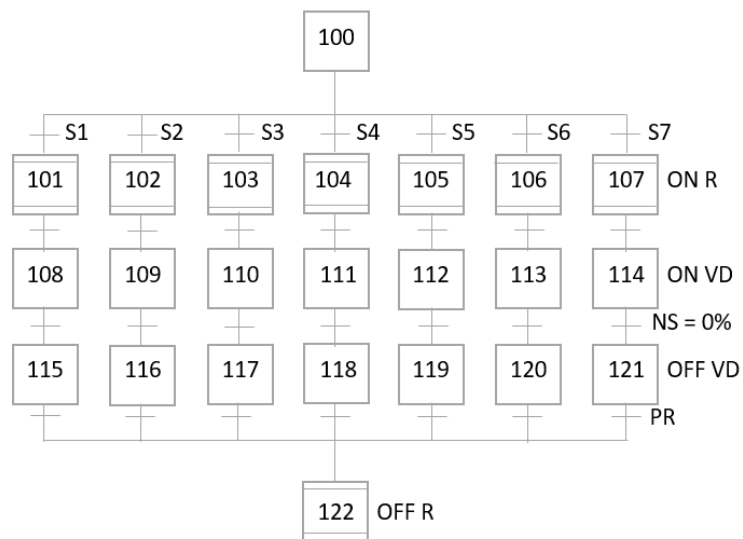


Figura 3-8. GRAFCET correspondiente a la macro -etapa 5, Inicio Reproceso

Ahora bien, las macro-etapas de secuencia de encendido (ON P, ON M y ON E) son:

Tabla 3-2 Nombres de variables utilizadas en las secuencias de encendido y apagado, GRAFCET segundo nivel.

<b>Nombre variable</b>	<b>Variable</b>
Set sinfín silos del 1 al 4	S-SS 1-4
Set sinfín silos del 5 al 7	S-SS 5-7
Clasificadora N° 2	C2
Clasificadora N° 1	C1
Elevador de cangilones seco N° 1	ES1
Banda 119	B119
Banda 120	B120
Válvula rotatoria de salida de la Mause	VRS
Tambor de la secadora de la Mause	TS
Válvula rotatoria de salida de la Mause	VRS
Sinfín pequeño	SP
Sinfín producto húmedo	SH
Elevador producto húmedo	EH
Sinfín alimentación elevador producto húmedo	SA
Banda central	BC
Banda N° 8	B8
Clasificadora pequeña	CP
Elevador de cangilones seco N° 1	ES2
Separador magnético	SM
Banda bajo silos	BBS
Banda N° 1	B1
Banda N° 2	B2
Banda N° 3	B3
Banda N° 4	B4
Banda N° 5	B5
Banda N° 6	B6
Banda N° 7	B7
Banda de reproceso	BR
Válvula de reproceso	VR

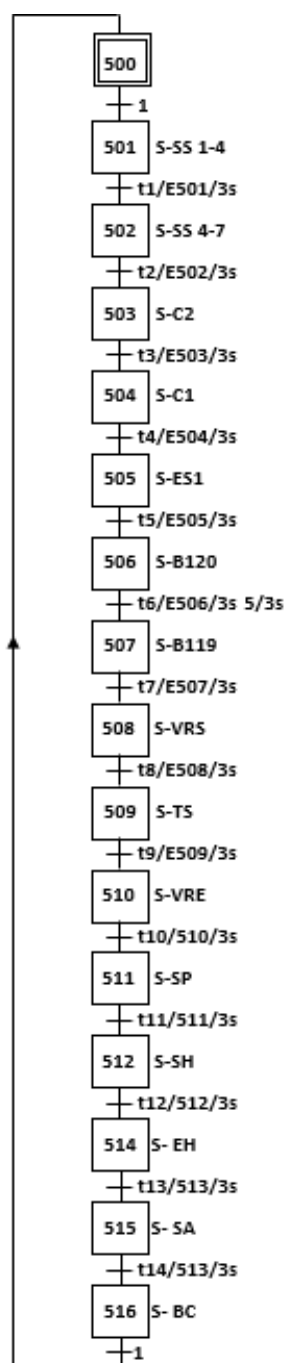


Figura 3-9. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de encendido equipos purga.

El anterior GRAFCET me indica la secuencia de encendido de los equipos necesarios para el proceso de purga, es decir una vez se seleccionado el silo a muestrear se abre la válvula correspondiente y luego evoluciona la marca a esté, para encender los equipos

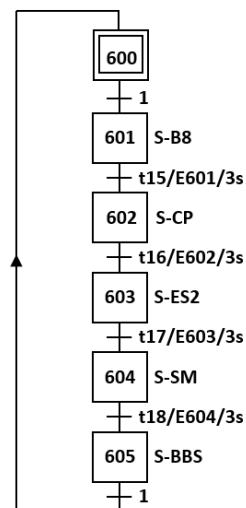


Figura 3-10. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de encendido equipos muestreo.

El anterior GRAFCET me indica la secuencia de encendido de los equipos necesarios para el proceso de muestreo, es decir una vez se selecciona el silo a muestrear evoluciona la marca a esté, para encender los equipos



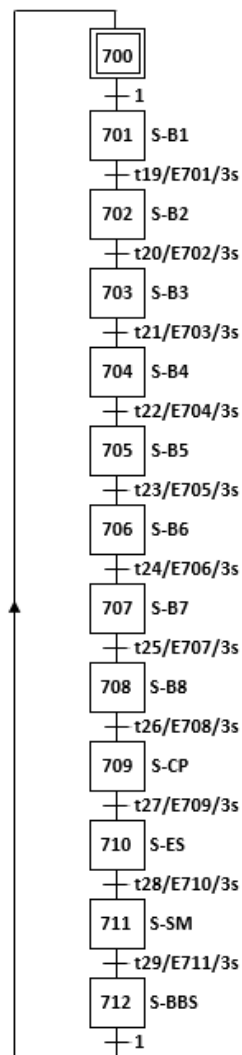


Figura 3-11. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de encendido equipos empacado.

El anterior GRAFCET me indica la secuencia de encendido de los equipos necesarios para el proceso de empacado, es decir una vez se selecciona el silo a empacar evoluciona la marca a esté, para encender los equipos.

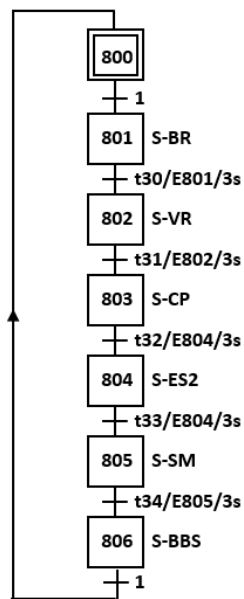


Figura 3-12. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de encendido equipos reproceso.

El anterior GRAFCET me indica la secuencia de encendido de los equipos necesarios para el proceso de reproceso, es decir una vez se selecciona el silo a reprocesar evoluciona la marca a esté, para encender los equipos.

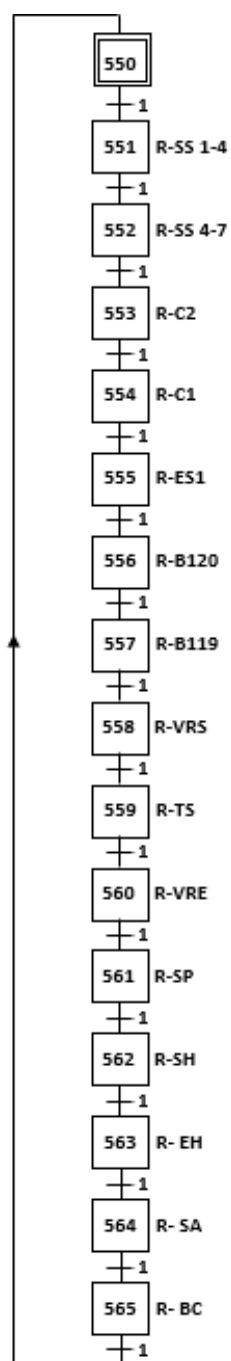


Figura 3-13. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de apagado equipos purga.

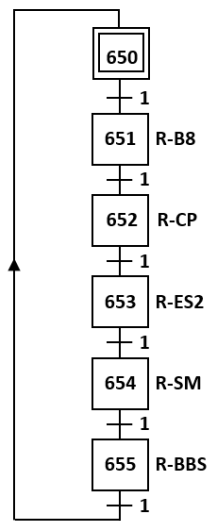


Figura 3-14. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de apagado equipos muestreo.

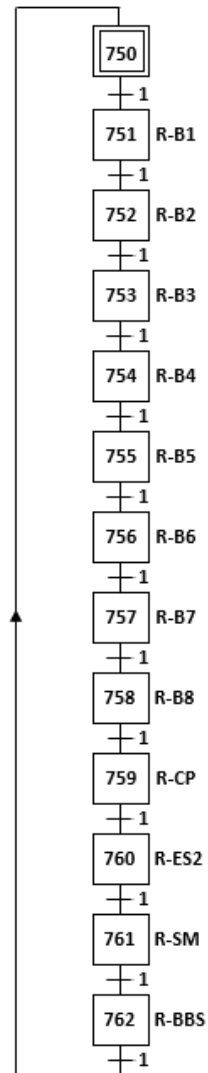


Figura 3-15. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de apagado equipos empacado.

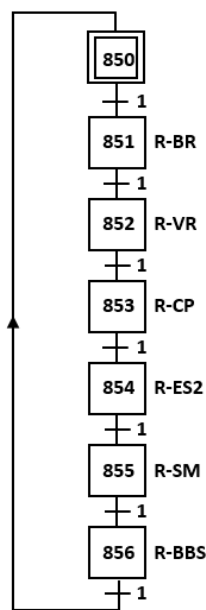


Figura 3-16. GRAFCET Segundo Nivel, secuencia de apagado equipos reproceso.

### 3.4. E4 – Descripción de los estados de la guía GEMMA implementados.

La operación normal de la línea de producción de azúcar refinada responde al estado F1 (Producción normal) de la guía GEMMA.

Cuando el operador necesita parar la línea producción, con el objetivo de realizar alguna inspección o reparación a un equipo, presiona el botón de parada, respondiendo al estado D1 (Parada de emergencia) de la guía GEMMA.

El proceso de producción de azúcar refinada inicia una vez el personal del laboratorio haya realizado el análisis y entregado una calidad aprobada para un cliente, para ello es necesario realizar una etapa de muestreo antes de iniciar con el proceso de empacado, dicha etapa responde a el estado F2 (Marcha de preparación) de la guía GEMMA.

El operador de la línea de producción puede verificar el funcionamiento de cualquier equipo sin necesidad de encender toda la línea, pasando a modo manual desde la ventana emergente del equipo correspondiente, respondiendo así al estado F4 (Marcha de verificación sin orden) de la guía GEMMA.

Durante la operación de la línea de producción el operador podría parar un equipo para hacer algún ajuste o se puede presentar alguna falla eléctrica o mecánica, como por ejemplo un disparo por sobrecarga o una banda desacoplada; ocasionando una parada inesperada de la línea de producción, esto responde al estado A3 (Parada Pedida) de la guía GEMMA.

Una vez se presenta la parada inesperada de la línea de producción y hasta que no se dé solución a la causa de la parada, el sistema se encontrará en un estado de reposo distinto al estado inicial, dicho estado responde al A4 (Parada obtenida) de la guía GEMMA.

En el momento que el sistema se encuentra en modo automático y se presione parar muestreo, parar empacado o parar reproceso; dependiendo del proceso que se esté llevando a cabo, el sistema pasa al estado inicial, este corresponde al estado A6 (Puesta del sistema en el estado inicial) de la guía GEMMA.

Teniendo en cuenta que la producción de azúcar refinada se realiza las 24 horas del día y con el objetivo claro de responder a los pedidos solicitados por los clientes, la línea debe parar el menor tiempo posible a la hora presentarse una avería, por tanto, si es necesario realizar

transitoriamente la operación manual por parte del operador, como por ejemplo la apertura de una válvula; se realiza, esto responde al estado D3 (Producción a pesar de los defectos) de la guía GEMMA.

### 3.5. E5 - Caminos de evolución entre los distintos estados.

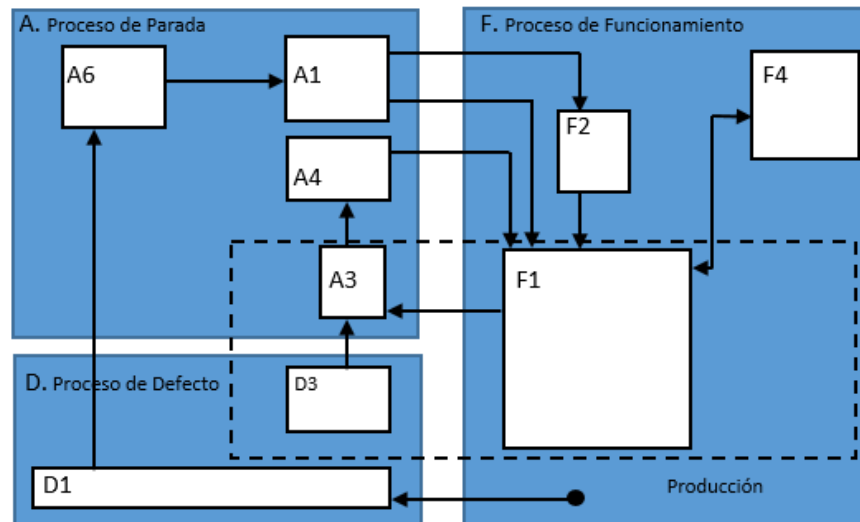


Figura 3-17. Modos de funcionamiento guía GEMMA implementados.

Nota: el punto de partida que se encuentra en la línea de evolución del estado D1 indica que se puede llegar al estado D1 desde cualquier otro estado.

### 3.6. E6 – Elementos de un pupitre del operador.



Figura 3-18. Pupitre de acceso para operador.

### 3.7. E7 - Definir sobre GEMMA las condiciones de evolución entre los distintos estados.

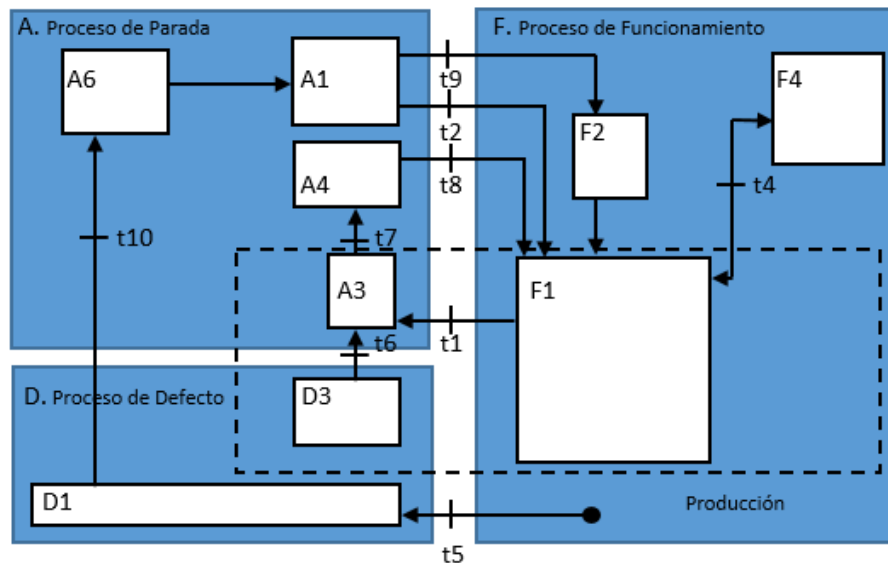


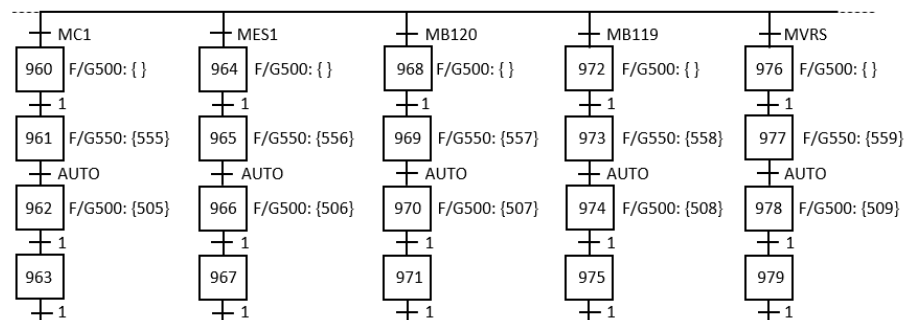
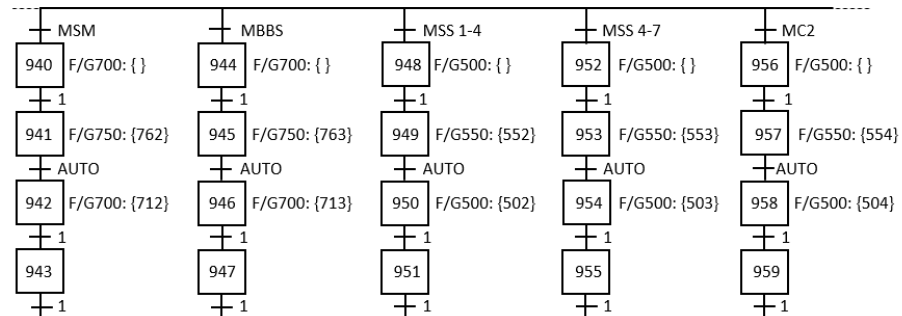
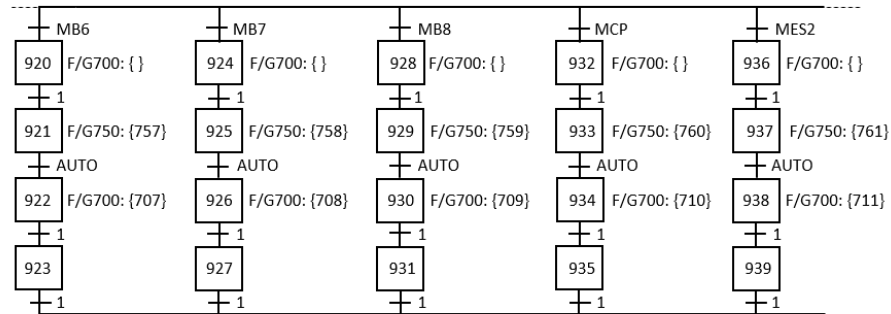
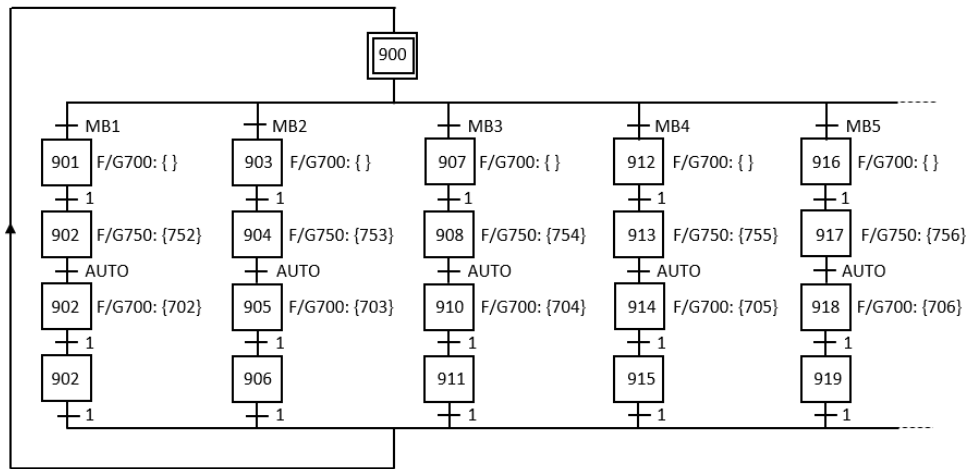
Figura 3-19. Modos de funcionamiento guía GEMMA implementados.

Donde los estados o las condiciones de evolución son:

- t1: Parada solicitada o falla en alguno de los equipos
- t2: Inicio de operación automática del sistema
- t3: Presionar Inicio Empacado
- t4: Presionar modo Manual para cualquier equipo
- t5: Presionar Parar Muestreo / Parar Empacado / Parar Reproceso
- t6: Parada solicitada con el fin de corregir alguna avería
- t7: Parar los equipos aguas atrás desde el que se haya solicitado, estado diferente al reposo
- t8: Presionar Inicio Muestreo / Inicio Empacado / Inicio Reproceso
- t9: Presionar Inicio Muestreo
- t10: Parar todos los equipos del proceso, volver al estado inicial.

### 3.8. E8 - Preparar el GRAFCET completo de segundo nivel a partir del de producción representado antes y de la GEMMA.

El GRAFCET de segundo nivel de operación automático se muestra en el ítem 3.3. ahora bien, el GRAFCET de operación manual:





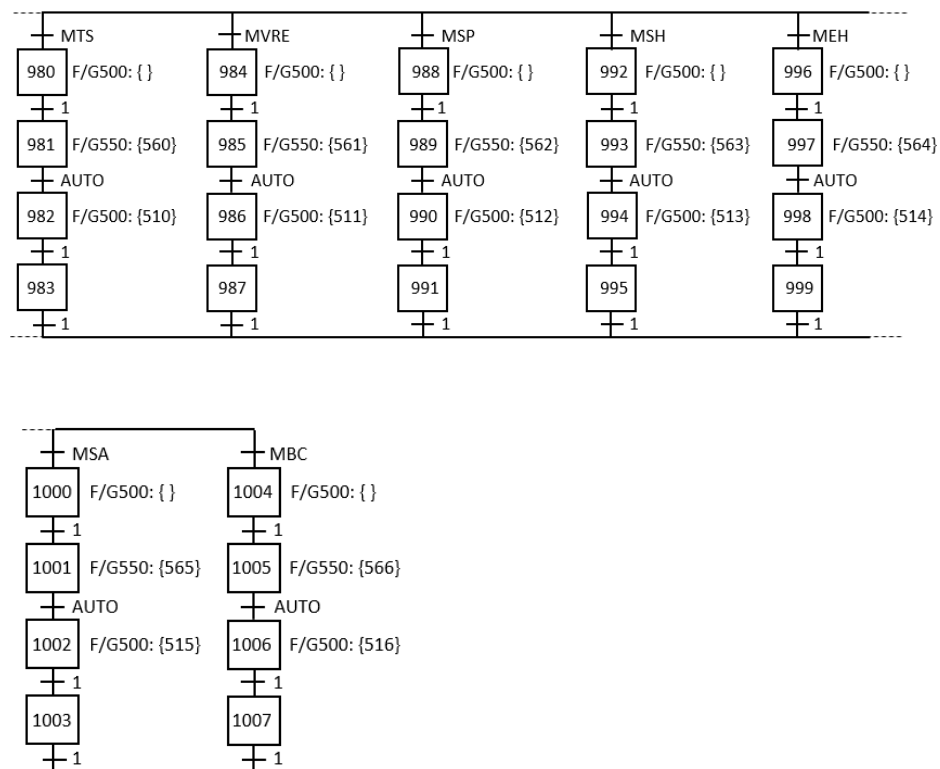


Figura 3-20 GRAFCET Segundo Nivel, operación manual.

### 3.9. E9 - Escoger la tecnología de control: número de autómatas programables, tipo de entrada y salidas, reguladores industriales, bus de comunicación.

Este paso corresponde más a aspectos técnicos para una futura implementación, que dependen de múltiples variables como la compatibilidad con los equipos y protocolos ya en funcionamiento en los otros subprocesos o máquinas de la planta y de factores administrativos como el presupuesto, los cuales sobrepasan los alcances de los objetivos de este proyecto. Por lo tanto, esta tarea será propuesta como una oportunidad de trabajo futuro a partir de éste.

### 3.10. E10 - Representar el GRAFCET de tercer nivel concreto (a nivel de autómatas).

El GRAFCET de tercer nivel, es el mismo que de segundo nivel descrito en el paso E8, teniendo en cuenta que se debe reescribir en función del autómata escogido en el paso E9 y de ser necesario descrito en un lenguaje alternativo de no estar soportado GRAFCET como lenguaje en el autómata respectivo.

### 3.11. E11 - Instalación, implementación, puesta a punto y pruebas

La simulación del diseño se implementó en el software TIA Portal V13 (*Totally Integrated Automation Portal*) de la empresa Siemens, el cual se puede considerar como una herramienta

que integrar distintas aplicaciones de software industrial para procesos de producción automatizada como: la programación del PLC, la creación de una HMI y la generación de informes de reportes de alarmas entre otras.

En TIA Portal V13 se empleó un PLC virtual el cual fue programado bajo diagramas de contactos (lenguaje *Ladder*) ya que TIA Portal V13 no soporta directamente lenguaje GRAFCET. Se implementó además una HMI la cual cuenta con interfaces gráficas de usuario que representan los diferentes módulos de: control, acceso de los diferentes usuarios, informes de alarmas, auditoría y una representación gráfica de los elementos actuadores reales presentes en la planta.

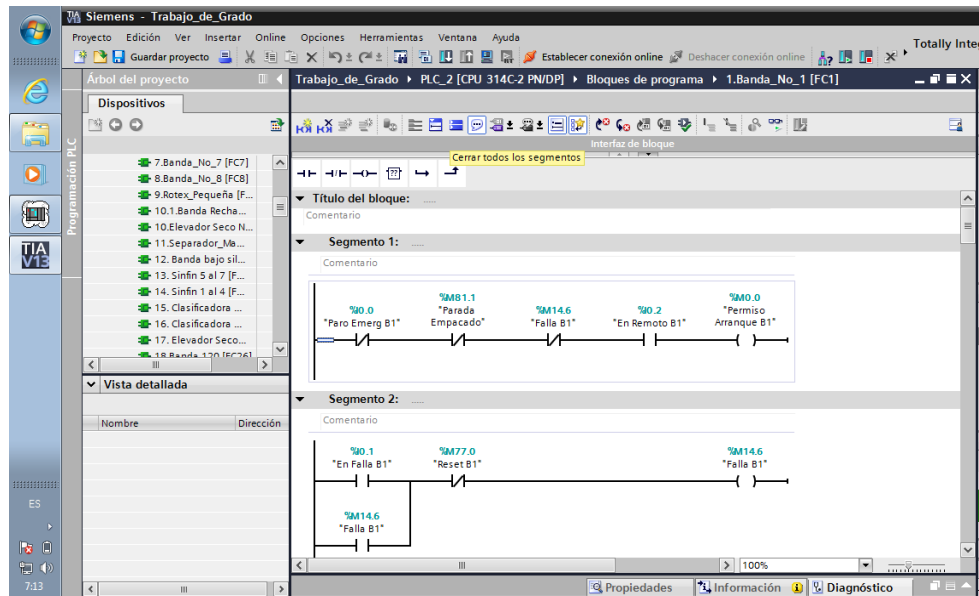


Figura 3-21. Programación en TIA Portal V13, lenguaje Ladder.

El software permite tener acceso a tres interfaces gráficas de usuario (Tres ventanas diferentes), donde se puede apreciar el proceso completo del empaclado y la parte final del proceso de refinación de azúcar refinada, las cuales se presentan en la FiguraFIGURA 3-22, Figura 3-23 y Figura 3-24.

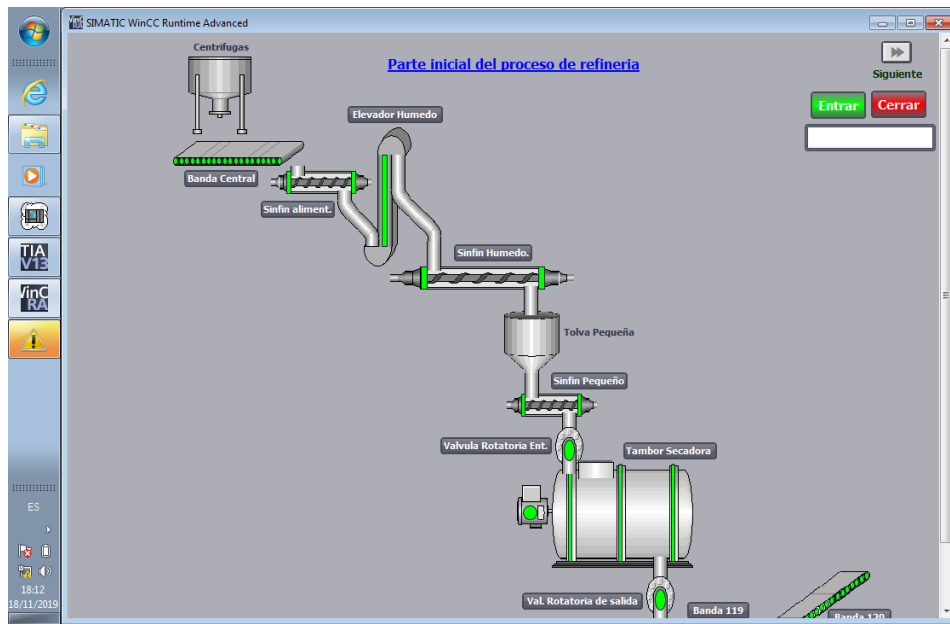


Figura 3-22. Interfaz Inicial.

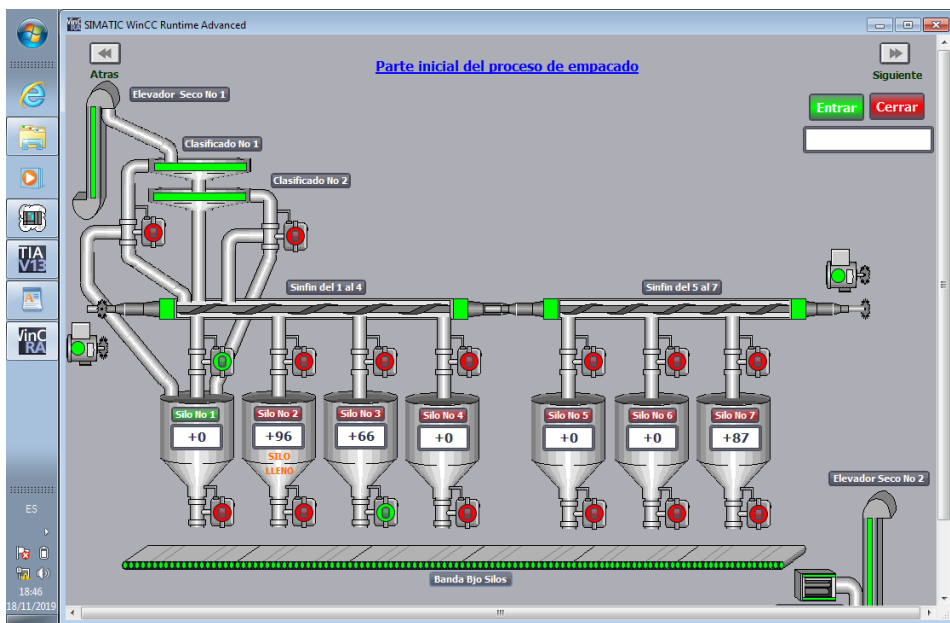


Figura 3-23. Interfaz intermedia.

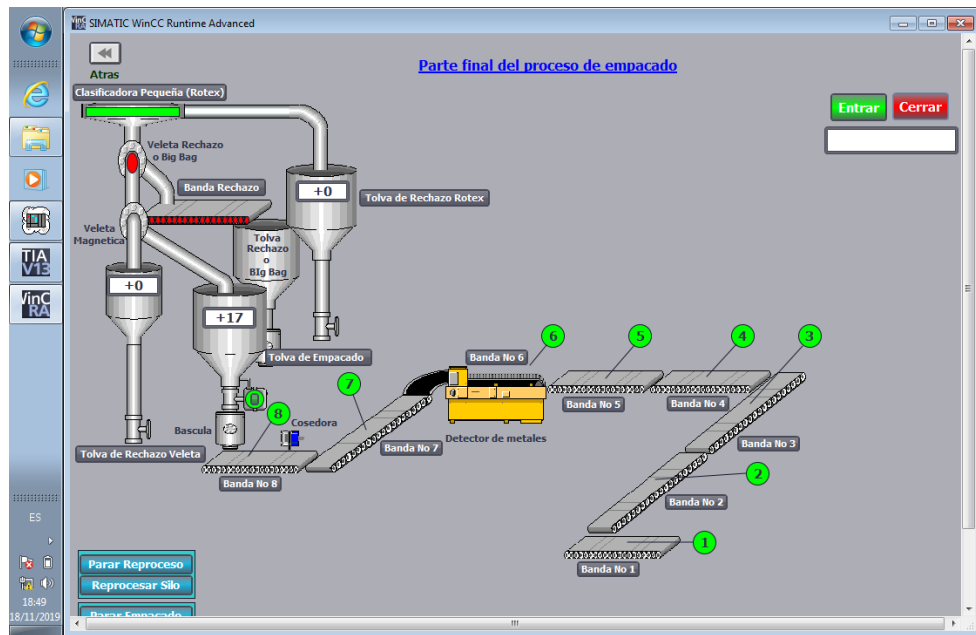


Figura 3-24. Interfaz Final.

Inicialmente se debe ingresar el usuario; existen tres posibles usuarios: un usuario de operación el cual sólo tiene acceso a los pupitres de operación, el usuario de supervisor el cual sólo tiene permitido monitorear el proceso mas no realizar ningún tipo de maniobra y finalmente el usuario administrador, el cual tiene acceso a todo inclusive a modificar contraseñas de los otros usuarios.

Nota: para ingresar el usuario es necesario presionar entrar el cual se encuentra ubicado en la parte superior derecha de la pantalla o con tan solo intentar hacer alguna maniobra de operación se desplegará inmediatamente la ventana de inicio de sesión, como se muestra en la Figura FIGURA 3-25.

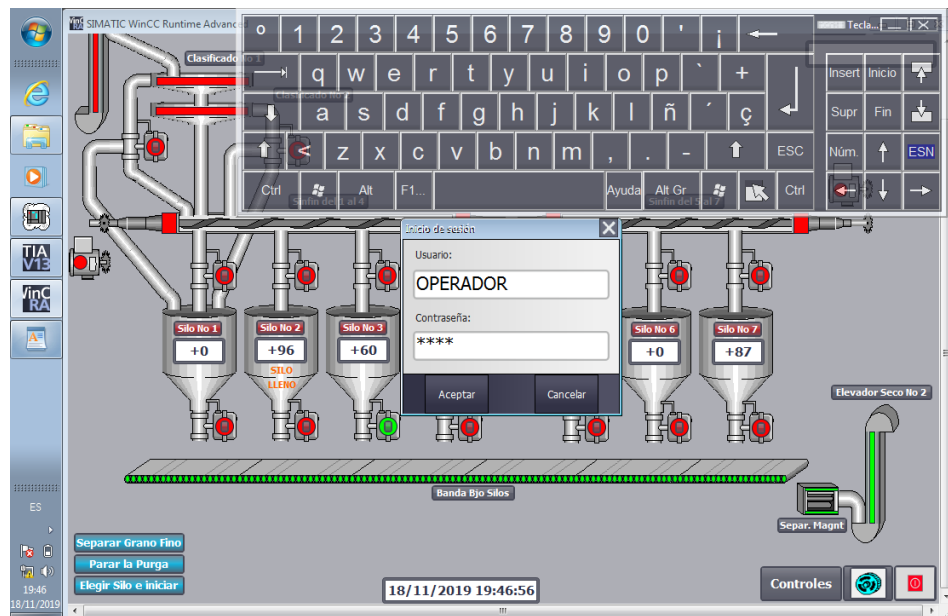


Figura 3-25. Interfaz ingreso de usuario.

La operación de la línea de producción se realizará en su totalidad desde las interfaces gráficas propuestas lo cual es una forma alternativa a la forma manual como se realiza en la actualidad. A continuación, se describirá la secuencia de operaciones correspondientes a la parte final del proceso de refinado y el proceso de empackado.

El proceso inicia eligiendo el silo a llenar, para ello se presiona desde la botonera disponible en la interfaz intermedia el botón etiquetado como “Elegir Silo e iniciar” tal como se muestra en las Figura 3-26 y Figura 3-27.

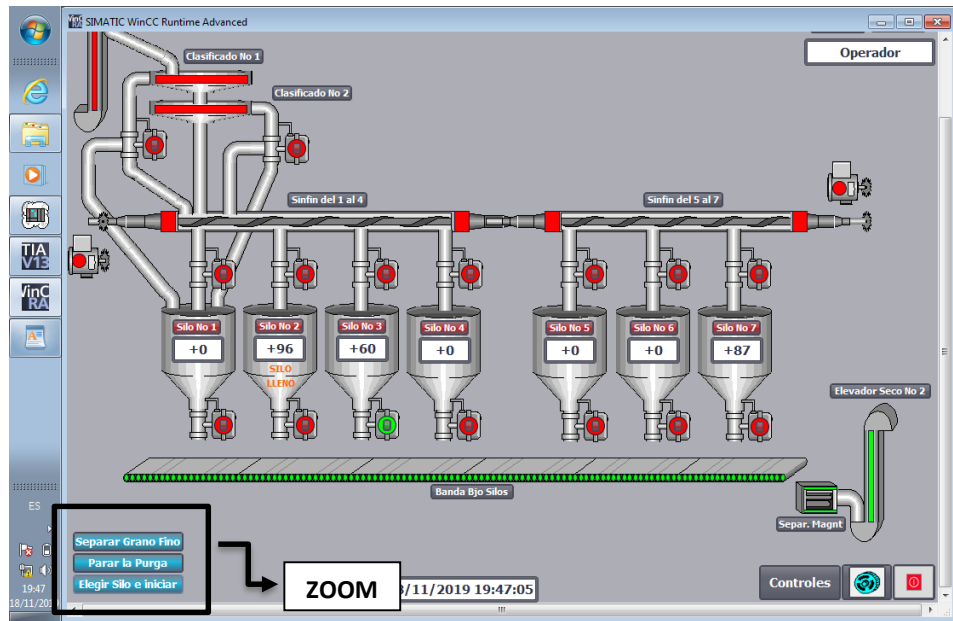


Figura 3-26. Botonera de la interfaz intermedia.

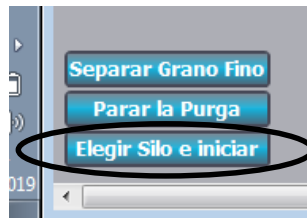


Figura 3-27. Zoom interfaz intermedia “Elegir Silo e iniciar”.

Luego se despliega una ventana emergente donde se elige el silo a llenar, como se muestra en la Figura 3-28 y FiguraFIGURA 3-29.

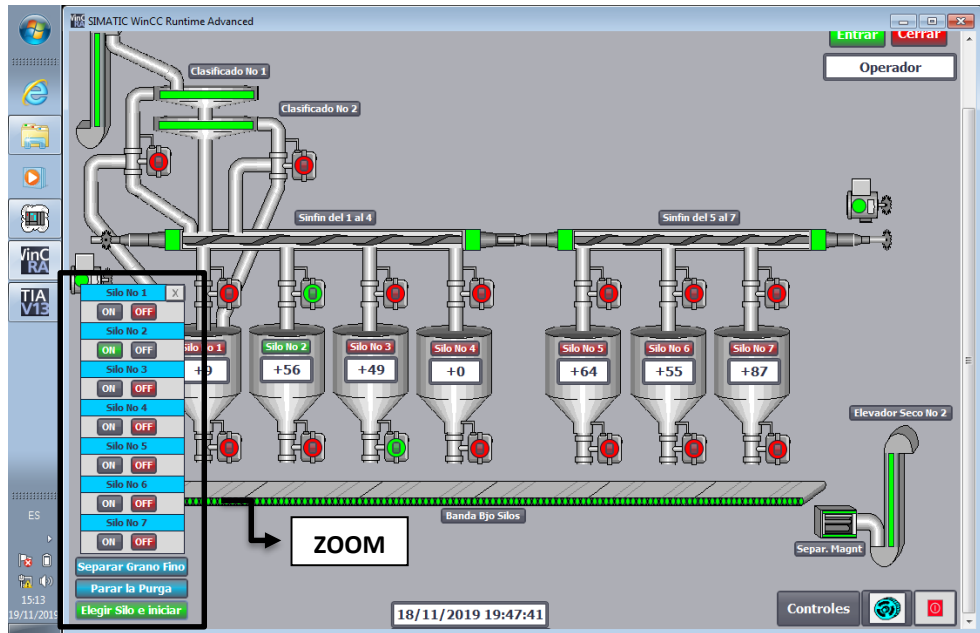


Figura 3-28. Interfaz intermedia ventana emergente.



Figura 3-29. Zoom interfaz intermedia ventana emergente

Una vez seleccionado el silo a llenar se abre la válvula correspondiente a dicho silo e inicia automáticamente y en forma secuencial uno a uno los equipos aguas atrás dejando una pausa entra cada uno, permitiendo simular así la señal de confirmación entregada por el sensor del eje de cola de cada uno de los equipos (bandas, sinfín, elevadores, tambores) dicha señal garantiza que el equipo está realmente en movimiento y además representa a los enclavamientos eléctricos secuenciados que tiene la línea de producción.

Posteriormente se inicia el empaqueo del producto previamente almacenado en los seis posibles silos de llenado, se consideran sólo los silos del N° 2 al N° 7 ya que el silo N° 1 es utilizado para almacenar un producto especial denominado grano fino.

Nota: para la separación de grano fino se dispone de una botonera en la interfaz intermedia “Separa Grano Fino”, la cual despliega una ventana emergente donde se puede acceder a abrir o cerrar las válvulas de grano fino, como se indica en la Figura FIGURA 3-30 y Figura FIGURA 3-31.

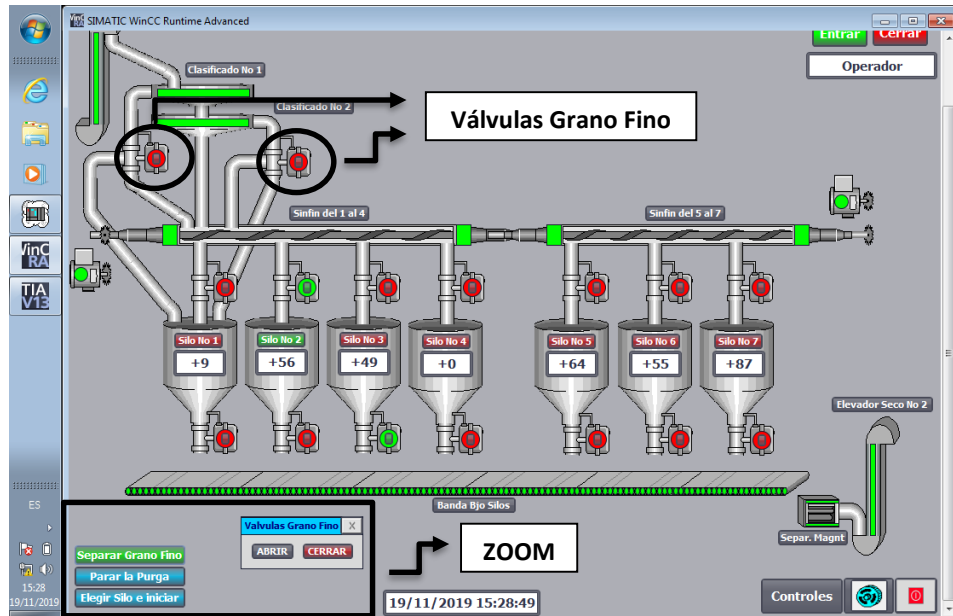


Figura 3-30. Interfaz intermedia, ventana emergente separación grano fino.



Figura 3-31. Zoom interfaz intermedia, ventana emergente separación grano fino

Luego de la elección del silo se procede a realizar el proceso de empacado, pero primero se debe realizar un proceso de muestreo el cuál se toma una muestra del producto que será analizada en el laboratorio para su aprobación o rechazo. Para esto se presiona el botón etiquetado como “Iniciar Muestreo” desde la botonera disponible en la interfaz gráfica final.

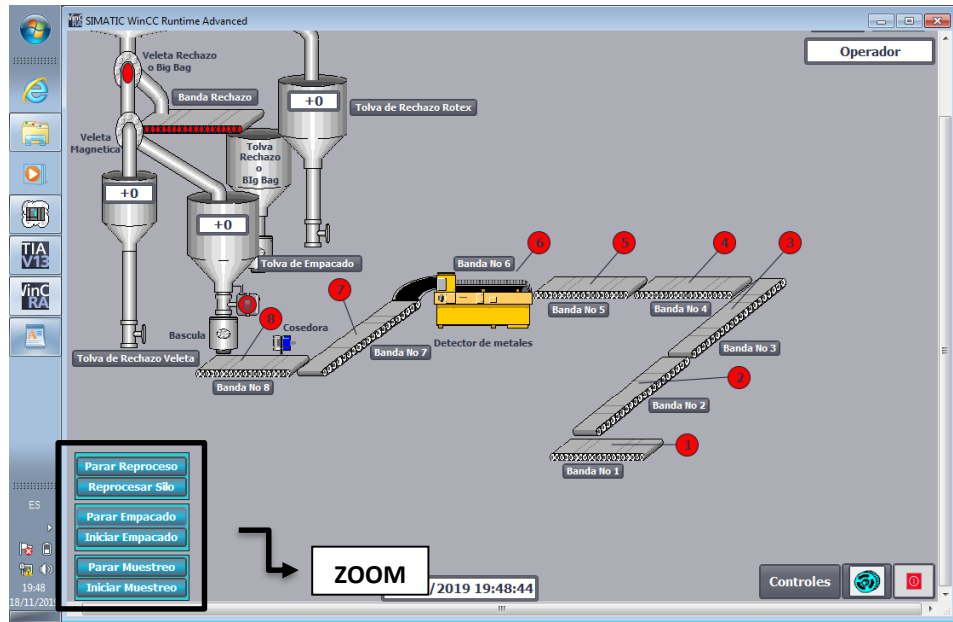


Figura 3-32. Botoneras de la interfaz final.

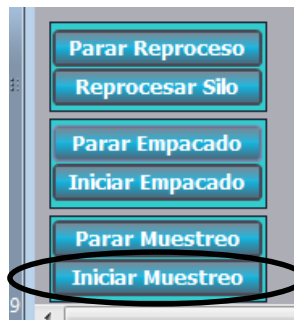


Figura 3-33. Botoneras de la interfaz final.

Seguido a ello se despliega una ventana emergente donde pregunta sobre el silo a elegir para muestrear, cabe resaltar que dicho silo debe tener algún nivel para permitir su muestreo.



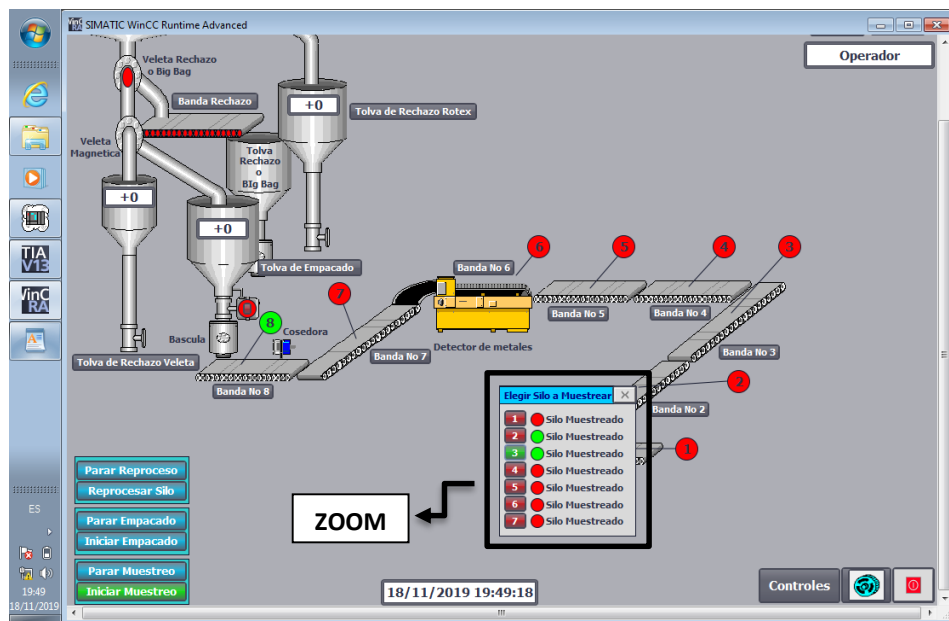


Figura 3-34. Interfaz final, ventana emergente “Elegir silo a muestrear”



Figura 3-35. Zoom interfaz final, “Elegir Silo a Empacar”.

Una vez seleccionado el silo a muestrear se encienden automáticamente los equipos desde la banda N° 8 y todos los necesarios hacia atrás hasta llegar a la parte inferior de los siete silos, donde se abre la válvula de descarga del silo seleccionado.

Nota: cuando se ponen en color verde el recuadro y el círculo a la vez, significa que se está muestreando en ese momento, una vez finalizado el muestreo queda solo encendido el piloto de forma circular, es decir, en este caso (Figura 3-35) se está muestreando el silo N° 3 y ya se encuentra muestreado con anterioridad el silo N° 2.

El proceso de muestreo finaliza una vez se cumpla el 10% de nivel de la tolva de empacado, este porcentaje garantiza tener mínimo 10 quintales (1 quintal es un bulto de 50 Kg) empacados y disponibles para el análisis del laboratorio, al finalizar el muestreo se cierra la válvula de descarga del silo seleccionado, como se muestra en la Figura FIGURA 3-36

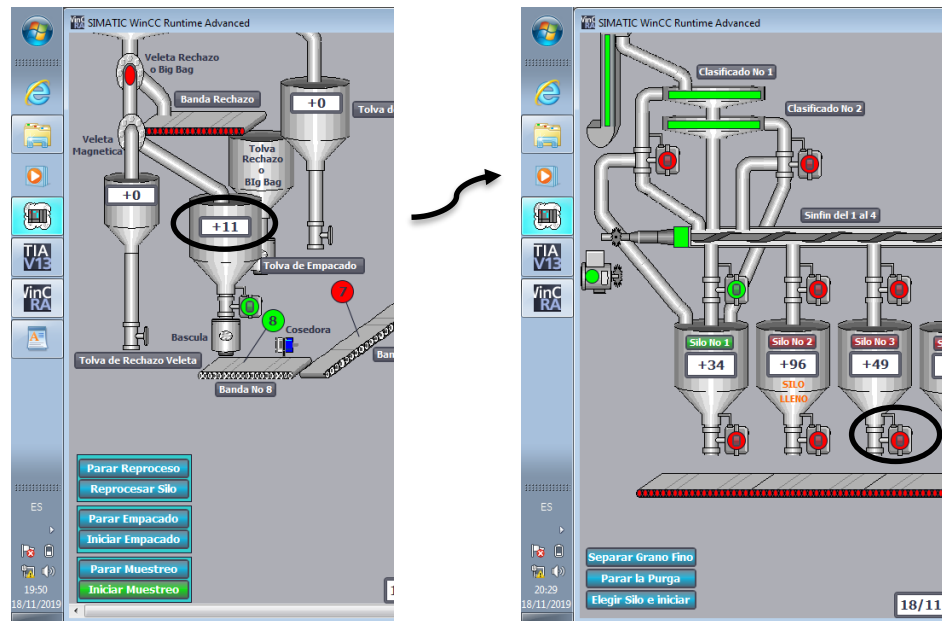


Figura 3-36. Interfaz gráfica, cuando finaliza el proceso de muestreo.

Nota: es posible muestrear un silo y luego otro sin necesidad de empacarlo inmediatamente, esto con el fin de muestrear otro que se encuentre disponible, con el objetivo de buscar la calidad que se esté necesitando empacar en el momento; los silos muestreados quedan indicados como se muestra en la Figura 3-35.

Después de realizar el proceso de muestreo, se inicia el empacado, para ello se presiona “Iniciar Empacado” desde la botonera disponible en la interfaz final.

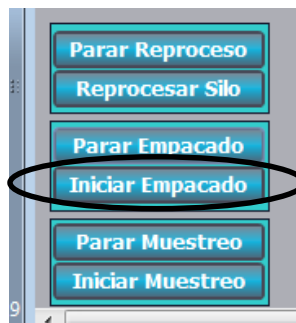


Figura 3-37. Zoom interfaz final, botonera “Iniciar Empacado”.

Seguido a ello se despliega una ventana emergente donde se pregunta si la calidad fue aprobada, como se muestra en la Figura 3-39.

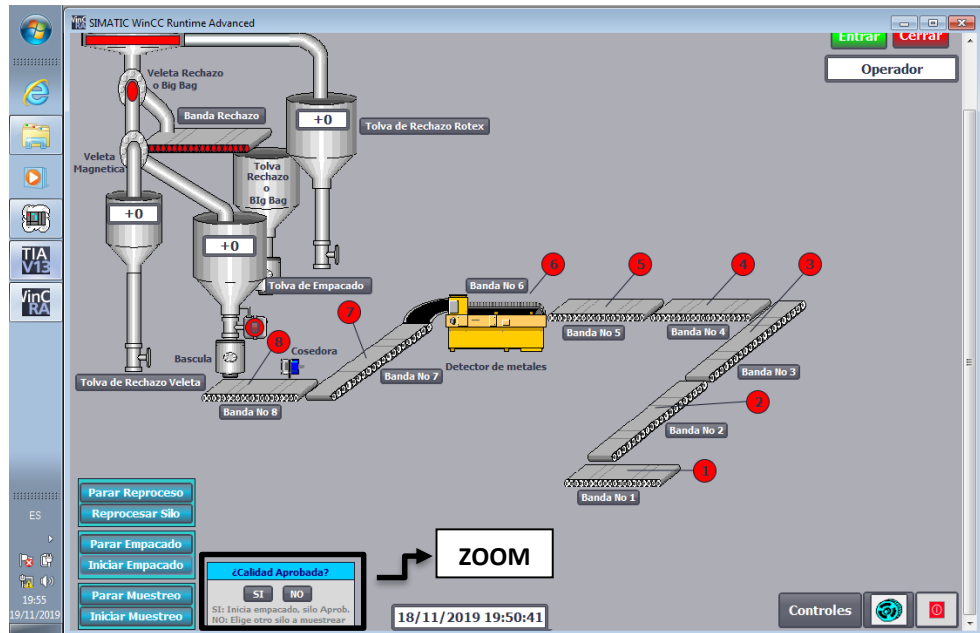


Figura 3-38. Interfaz final, ventana emergente “Calidad Aprobada”

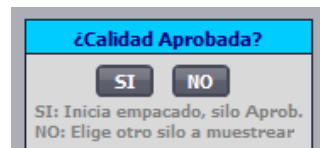


Figura 3-39. Zoom interfaz final, ventana emergente “Calidad Aprobada”.

Si se elige “SI” se despliega otra ventana emergente donde se puede elegir el silo que se desea empacar, ahora bien, si se elige “NO” se despliega la ventana emergente indicada en la Figura 3-34. donde se pasaría a elegir otro silo a muestrear; es importante aclarar que el silo que se elija tanto para muestrear como para empacar debe tener nivel.

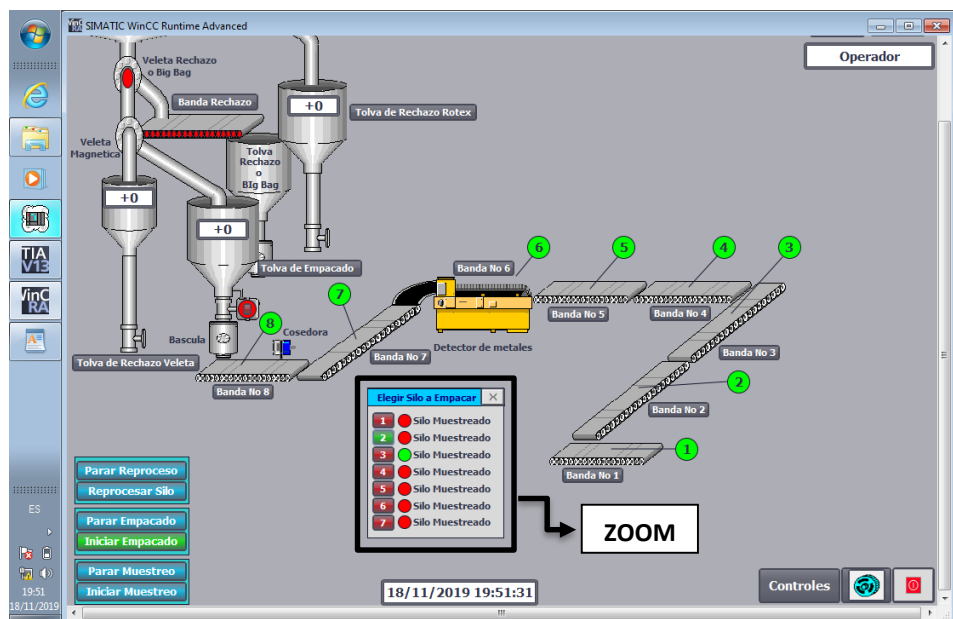


Figura 3-40. Interfaz final, ventana emergente “Elegir silo a Empacar”



Figura 3-41. Zoom interfaz final, ventana emergente “Elegir silo a Empacar”

Cuando se elige la opción “SI” y se confirma el silo que se desea empacar, desaparece la indicación de silo muestreado, e inicia automáticamente el encendido de los equipos desde la banda N° 1 hasta la banda bajo silos y se abre la válvula correspondiente a el silo seleccionado a empacar, es así cuando se inicia el llenado de la tolva de empacado y se liquida el silo seleccionado.

Nota: al igual que en el muestreo, es posible realizar el empacado de varios silos seguidos si y solo si dichos silos han sido muestreados previamente, es decir solo se pueden empacar los que tengan la indicación de silo muestreado.

Finalmente, el operador tiene la opción de reprocesar un silo, para ello se presiona desde la botonera disponible en la interfaz final “Reprocesar Silo”, como se muestra en la FiguraFigura 3-42.

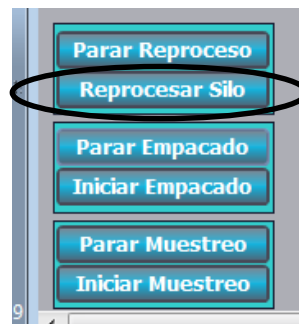


Figura 3-42. Zoom interfaz final, botonera “Iniciar Reproceso”.

Una vez seleccionada la opción “Reprocesar Silo”, se despliega una ventana emergente preguntando que silo se desea reprocesar, luego se inicia el encendido de los equipos necesarios para dirigir el material hasta la “Tolva de Reproceso o Big Bag” es decir, se encienden los equipos desde la banda de reproceso hasta la banda bajo silo, se abre la válvula que desvía el producto de la tolva de empacado a la tolva de reproceso y se abre la válvula correspondiente del silo a reprocesar, como se muestra en la Figura 3-43 y Figura 3-44.

Nota: al igual que el empacado, el reproceso se realiza si y sólo si el silo ha sido muestreado.

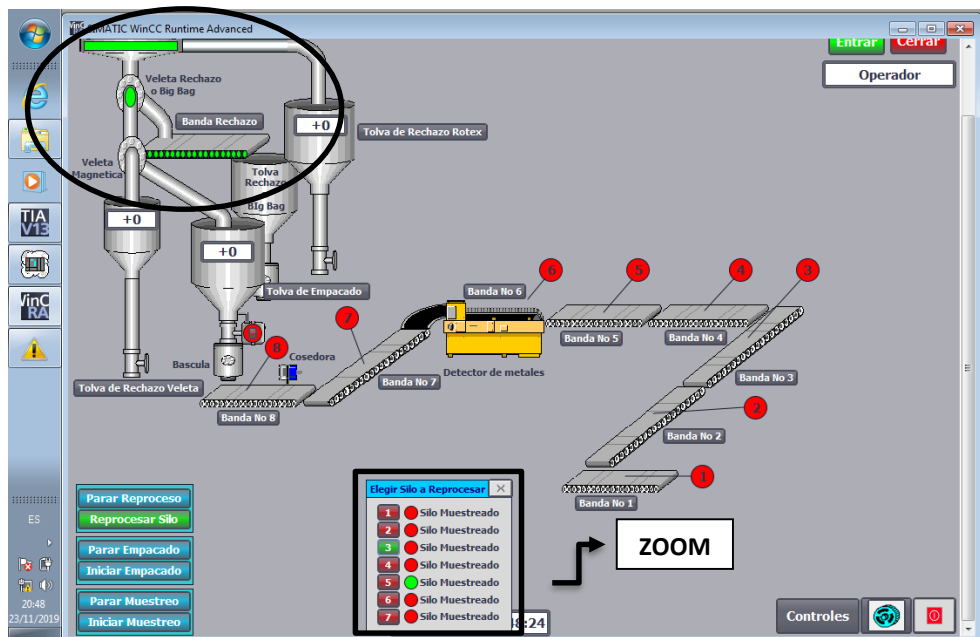


Figura 3-43. Interfaz final, ventana emergente “Elegir Silo a Reprocesar”



Figura 3-44. Zoom interfaz final, ventana emergente “Elegir Silo a Reprocesar”.

Una vez finalizado el reproceso del silo se presiona “Parar Reproceso”, dejando así en reposo en sistema o simplemente iniciar un nuevo muestro, empacar algún silo ya muestreado e incluso se puede iniciar un nuevo reproceso.

Nota: las tolvas de reproceso de la Rotex y de la veleta se deben vaciar de forma manual cuando se supere el 90% de llenado, de lo contrario no se dejará abrir la válvula inferior de la tolva de empacado, es importante aclarar que el llenado de estas tolvas puede tardar semanas.

Cabe resaltar mencionar que cada uno de los equipos cuenta con su propia ventana emergente, donde se indica en qué estado se encuentra, como se detalla en la Figura 3-45 y Figura 3-46.

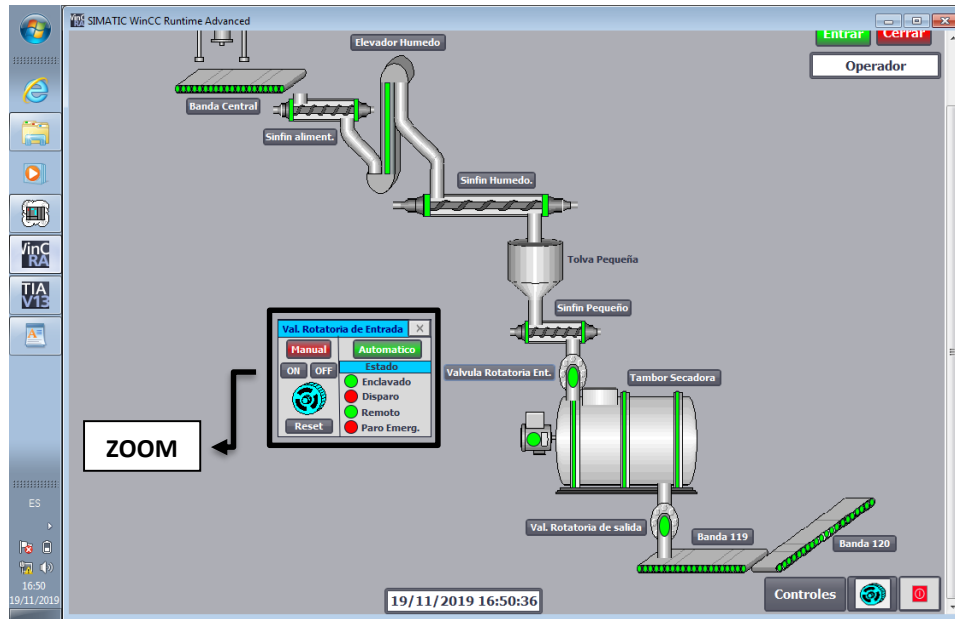


Figura 3-45. Interfaz inicial, ventana emergente “Val. Rotatoria de Entrada”.



Figura 3-46. Zoom interfaz inicial, ventana emergente “Val. Rotatoria de Entrada”.

En la interfaz de mando de la válvula rotatoria de entrada (FiguraFIGURA 3-46) se puede visualizar el estado completo del equipo, se indica si se encuentra en automático o en manual, además se muestra si se encuentra enclavado, si tiene algún tipo de falla, si se encuentra en local o en remoto o si el paro de emergencia está presionado, adicional a ello se aprecia un botón de “Reset” el cual ordenará el reinicio de la máquina luego una falla detectada y tratada.

Para el caso de los niveles de los silos y las tolvas, también se cuenta con ventanas emergentes, las cuales indican el estado del nivel de forma digital y análoga, como se muestra en la Figura 3-47 y Figura 3-48 correspondientes el nivel del silo N° 2.

Nota: cuando el nivel de la tolva supere el 90% de llenado, se cerrará inmediatamente la válvula de descarga del silo que se esté empacando y una vez baje el nivel se abrirá nuevamente, ahora si algún silo supera el 90% de llenado, se detendrán inmediatamente los equipos del proceso de purga, para este caso se debe reiniciar nuevamente el proceso de purga seleccionando otro silo a llenar.

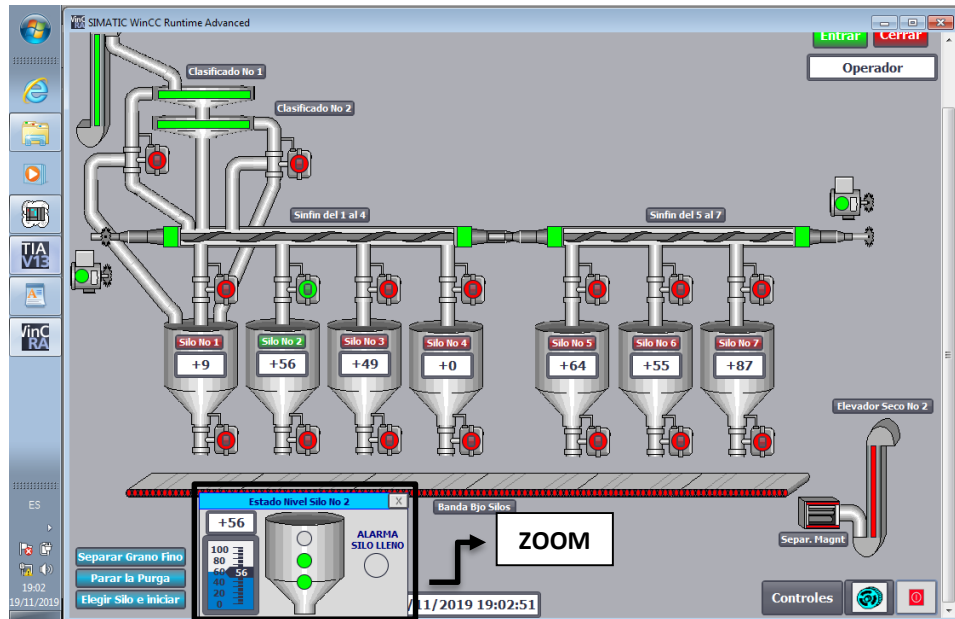


Figura 3-47. Interfaz intermedia, ventana emergente “Estado Nivel Silo N° 2”.



Figura 3-48. Zoom interfaz intermedia, ventana emergente “Estado Nivel Silo N° 2”.

De igual forma para las válvulas bajo silos y la válvula bajo la tova de empacado, también cuentan con ventanas emergentes, donde se indica el estado de la válvula, es decir si se encuentra en automático o en remoto y si está enclavada, como se muestra en la Figura 3-49 y Figura 3-50 para la válvula del silo N° 2.

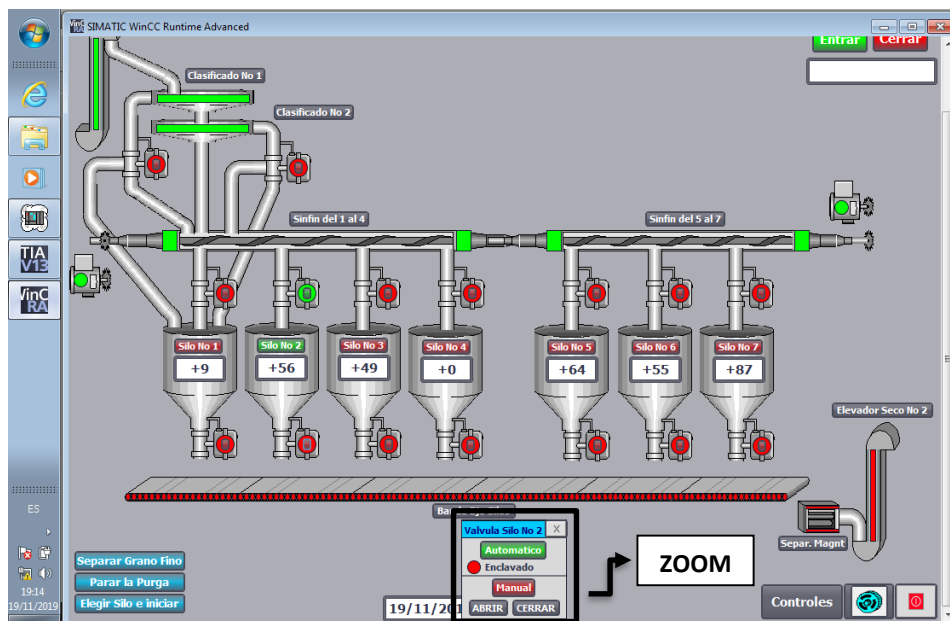


Figura 3-49. Interfaz intermedia, ventana emergente “Válvula Silo N° 2”.



Figura 3-50. Interfaz intermedia, ventana emergente “Válvula Silo N° 2”.

La parte final del proceso de empaclado es decir en la interfaz final, es donde se empaican y sellan los bultos por medio de una cosedora ubicada al final de la banda No 8 (Figura 3-51 y Figura 3-52) la cual cuenta con un paro de emergencia que a su vez detiene también a la banda N° 8 esto con el fin de darle buena ubicación al bulto en caso de quedar mal sellado.



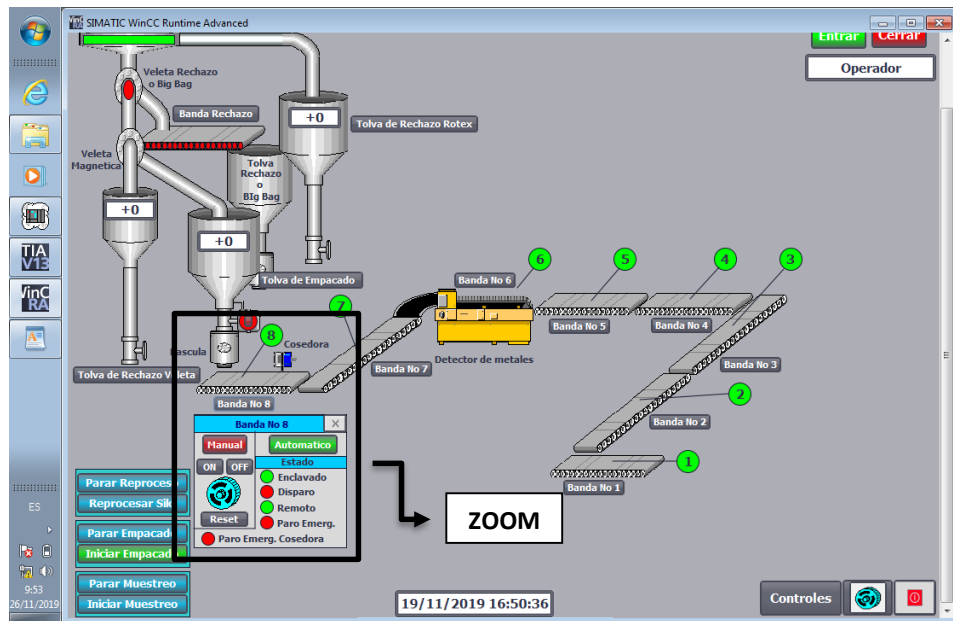


Figura 3-51 Interfaz final, ventana emergente “Banda N° 8”.



Figura 3-52 Zoom interfaz final, ventana emergente “Banda N° 8”.

Posteriormente en la banda No 6 se encuentra el detector de metales en forma de túnel el cual es un PCC (Punto Crítico de Control), es decir una etapa esencial para garantizar la inocuidad del producto, por tanto, cuando el detector de metales se activa es indicado en la ventana emergente de la banda N°6 y me para la operación de las bandas aguas atrás a él.

El sistema cuenta además con una opción identificada como “Controles” a la cual sólo se puede acceder como usuario supervisor o administrador como se muestra en la Figura 3-53, Figura 3-54 y Figura FIGURA 3-55, en esta se encuentra un menú de consulta sobre el funcionamiento del sistema, el cual permite hacer un seguimiento de la operación del proceso, está información puede emplearse para la realización de informes o toma de decisiones.

Nota: cuando se ingresa a una de las cuatro opciones del menú de Controles se debe presionar el logo azul con forma de piñón ubicado en la parte interior de la interfaz, para retornar a la interfaz gráfica de operación, como lo muestra la Figura 3-56.

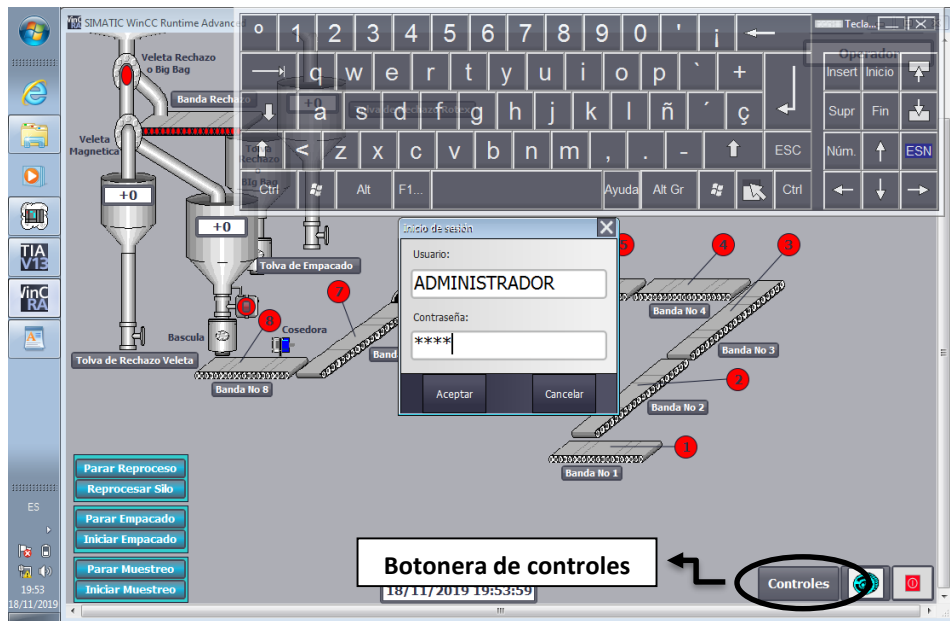


Figura 3-53. Interfaz final, botonera “Controles”.

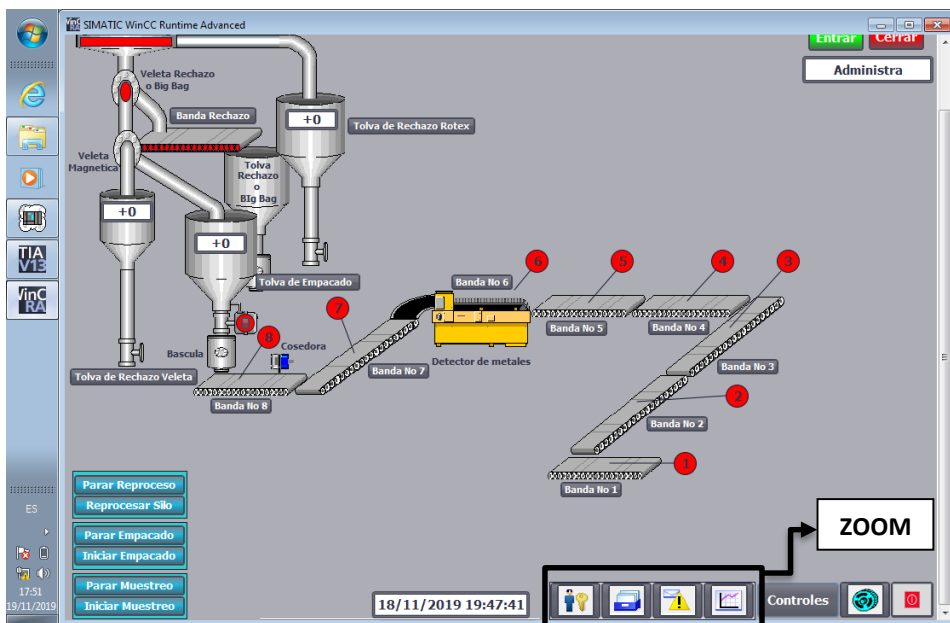


Figura 3-54. Interfaz final, menú de consulta “Controles”.



Figura 3-55. Zoom interfaz final, menú de consulta botonera “Controles”

En el menú de consulta se encuentran cuatro posibles consultas, de derecha a izquierda, la primera opción es el visor de curvas, allí se puede visualizar en tiempo real el comportamiento de las señales análogas del sistema, en este caso, los niveles de los silos de empacado y de la tolva de empacado, como se muestra en la Figura 3-54 y Figura 3-55.

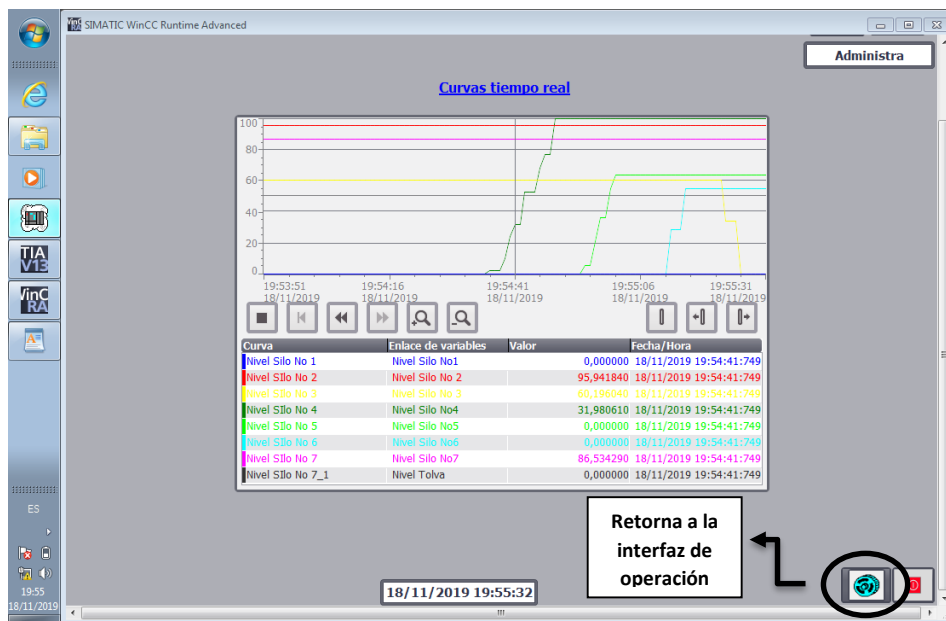


Figura 3-56. Interfaz gráfica del visor de curvas tiempo real.

La segunda opción es el visor de avisos o alarmas, desde allí se puede acceder a realizar la consulta de las alarmas que se hallan presentado en el proceso, en este caso se configuro las alarmas de advertencia como alto nivel, es decir, cuando el nivel de los silos o de la tolva de empacado supere el 80% de llenado y las alarmas de error como muy alto nivel, es decir, cuando el nivel supere el 90% llenado, como se muestra en la Figura 3-57.

Nota: cuando se presenta una alarma de advertencia se muestra en el visor de alarmas, pero una vez se baje el nivel desaparecerá del visor, diferente con las alarmas de error, las cuales se quedan en el visor de alarmas hasta que se acuse la alarma y además se quedan guardadas en el informe de avisos.

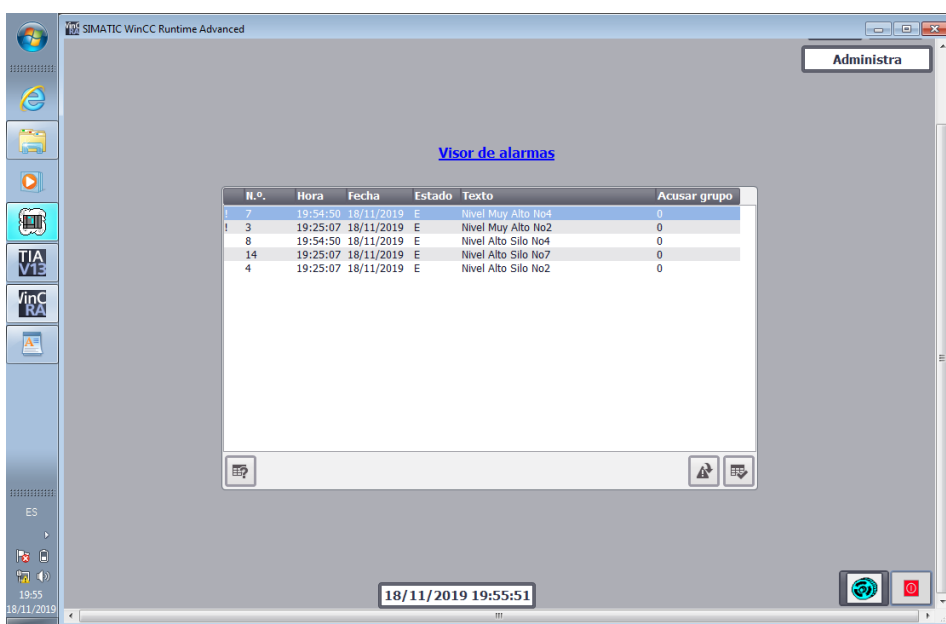


Figura 3-57. Interfaz gráfica del visor de alarmas tiempo real.

La tercera opción es el visor de informes, desde allí se puede imprimir dos tipos de informes: el informe de avisos y el informe de auditoría, como se muestra en la Figura 3-58.

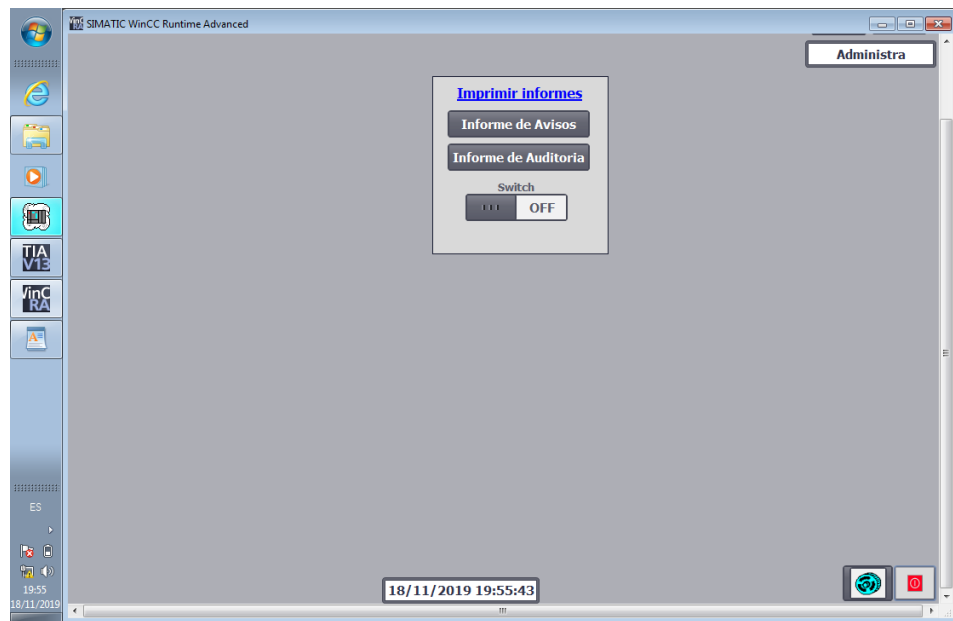


Figura 3-58. Interfaz gráfica del visor de informes.

El informe de avisos indica todas las alarmas de error presentadas en el proceso desde el momento que se inició su operación, como se muestra a en la Figura 3-59

N°	Hora	Estado	Fecha	GR	Autómata
2	14:37:37	(E)S	20/11/2019	0	HMI_Conex...
	Nivel Alto Silo No1				
1	14:37:37	(E)S	20/11/2019	!	0
	Nivel Muy Alto No1				
2	14:37:19	E	20/11/2019	0	HMI_Conex...
	Nivel Alto Silo No1				
1	14:37:19	E	20/11/2019	!	0
	Nivel Muy Alto No1				
14	20:45:56	E	19/11/2019	0	HMI_Conex...
	Nivel Alto Silo No7				

Figura 3-59. Informe de Alarmas.

Mientras que el informe de auditoría indica, el usuario, fecha y hora de todos los inicios y finales de la ejecución del programa, como se muestra en la Figura 3-60.

Nota: para realizar la impresión del informe de auditoría es importante primero mover el switch a la posición OFF (Figura 3-58) con el fin de que pare de compilar la información y permita imprimir, de lo contrario generará un error en el informe.

ID	Fecha y hora	Duración	Usuario	ID de objeto	Descripción
184	2019-11-20 14:03:28	+5:00	Operador	Administración de usuarios	El usuario 'Operador' ha iniciado una sesión con el grupo 'Grupo operadores'.
185	2019-11-20 14:06:52	+5:00	Operador	Administración de usuarios	El usuario 'Operador' ha iniciado una sesión con el grupo 'Grupo operadores'.
186	2019-11-20 14:18:40	+5:00	Sistema	Administración de usuarios	Usuario desconectado.
187	2019-11-20 14:21:35	+5:00	Operador	Administración de usuarios	El usuario 'Operador' ha iniciado una sesión con el grupo 'Grupo operadores'.

Figura 3-60. Informe de Auditoría.

La cuarta y última opción es un visor de usuarios, es allí donde se verifica el número de usuarios creados y donde el usuario de administrador puede realizar modificaciones al respecto, como cambio de usuarios o modificación de contraseñas.

Usua...	Contraseña	Grupo	Tiempo de...
Admi...	*****	Grupo d...	5
Oper...	*****	Grupo o...	5
PLC U...	*****	No autor...	5
Sup...	*****	Grupo su...	5

Figura 3-61. Interfaz gráfica del visor de usuarios.

Adicional a todo lo anterior, el programa guarda un fichero de variables, es decir guarda un archivo donde se presenta los cambios de las variables previamente configuradas, en este caso, se configuraron todas las variables que indican fallas de los equipos; y se guardan en la siguiente dirección: Disco Local (C) / Logs /Ficheros de variables; en otras palabras, se guarda un registro de los disparos (fallos) de los equipos, como se muestra en la Figura 3-62.

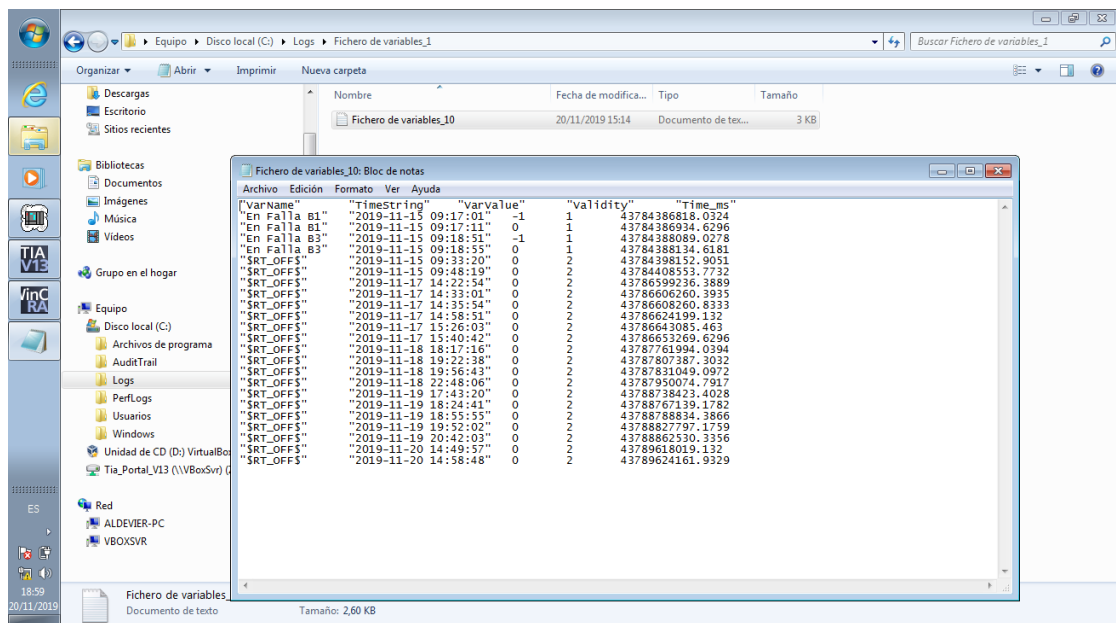


Figura 3-62. Fichero de variables.

Durante el proceso de diseño de la propuesta de automatización de la línea de producción de azúcar refinado del ingenio Risaralda, se consultaron los avances con uno de los supervisores del área de empaque, el cual le da un visto bueno a la propuesta y a su vez realiza sugerencias al respecto, las cuales fueron tenidas en cuenta e implementadas, logrando de esta forma entregar una propuesta de mejora lo más aterrizada posible a la realidad, en ese orden de ideas queda planteada la propuesta con finalidad de ser tenida en cuenta para su futura implementación y puesta a punto como sistema real.

## CONCLUSIONES

- Se estudió el proceso de producción de la parte final del subproceso de refinería y del subproceso de empackado de la línea de producción de azúcar refinada del Ingenio Risaralda con el fin de realizar un diagnóstico en el cual se identificaron algunas oportunidades de mejoramiento como el desbordamiento de algunos silos de almacenamiento las cuales pueden ser atendidas por medio del diseño y la implementación de un sistema que controle en forma automatizada el proceso, dicho diagnóstico fue contrastado con planes de mejoramiento realizados anteriormente por el área de mantenimiento encontrando resultados similares.
- Luego de buscar en el estado del arte una metodología para el diseño y la implementación de sistemas automatizados se encontró que la metodología basada en la guía GEMMA es ampliamente aceptada y utilizada para esta tarea y además permitía cubrir con las necesidades de sistema en cuanto a modos manual y automático y la implementación de paradas y marchas de preparación, por lo tanto, fue esta la metodología escogida a seguir.
- Se concluye que la metodología GEMMA presenta alto grado de escalabilidad ya que permitió enriquecer el diseño sistema automatizado con diferentes modos de operación y parada además de las condiciones particulares del sistema.
- Se logró desarrollar una propuesta de sistema automatizado para el control de la parte final del subproceso de refinería y el subproceso de empackado de azúcar en la línea de producción del Ingenio Risaralda que solventa las falencias encontradas en la fase diagnóstica. El automatismo está desarrollado en GRAFCET y la validación se realizó empleando la herramienta TIA Porta V13 de Siemens, las pruebas de funcionamiento bajo todas las diferentes condiciones de operación fueron satisfactorias.
- La simulación fue también presentada a un supervisor de la línea de producción quien realizó correcciones y recomendaciones respecto al funcionamiento del sistema, todas fueron tenidas en cuenta e implementadas, por lo tanto, podemos concluir que el sistema propuesto se encuentra validado también por el personal operativo.

## TRABAJO FUTURO

A partir de este trabajo se pueden desarrollar otras investigaciones o trabajos prácticos los cuales se mencionan a continuación.

- La implementación de la propuesta desarrollada en este trabajo para funcionamiento real sobre la línea de producción de azúcar refinada del Ingenio Risaralda, integrada en forma coordinada al sistema automatizado actual.
- Se puede desarrollar una investigación sobre la adquisición y almacenamiento de datos a partir de los diferentes sensores presentes en la línea de producción de azúcar refinada los cuales por medio de análisis estadísticos permitan la programación de mantenimientos preventivos o predictivos, así como la identificación de cuellos de botella entre otras oportunidades de mejoras con el objetivo de mejorar la eficiencia y confiabilidad de la línea de producción.
- Integrar la propuesta de automatismo presentada en este trabajo a un sistema más robusto que integre la gestión y planeación estratégica, con el objetivo de cumplir con las características de la industria 4.0.
- Este trabajo puede ser empleado como un referente para implementar la metodología propuesta a otros procesos industriales diferentes, ya que tanto la guía GEMMA como el software TIA portal presentan un alto grado de flexibilidad.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pedro Bosa, "Los Sistemas de Control en los últimos diez años" Automática e Instrumentación, 2008, pág. 88 a 94.
- [2] Jose Ignacio Armesto Quiroga, "Evolución de la automatización industrial en las últimas décadas" Automática e Instrumentación, 2008, pág. 66 a 73.
- [3] BAILEY, D. y E. Wright Practical SCADA for Industry Amsterdam Elsevier, 2003
- [4] Alvaro A. Orozco Gutierrez, Cristian Guarnizo Lemus y Mauricio Holguin Londoño. "Automatismo Industriales". Universidad Tecnológica de Pereira, 2008.
- [5] Roberto Sanchis Llopis, Julio Ariel Romero Pérez, Carlos Vicente Ariño Latorre. "Automatización Industrial". Universidad Jaime 1
- [6] <https://bit.ly/37GrDpO>
- [7] Modelos de marcha y parada, Guía GEMMA.
- [8] José Guadalupe Castro Lugo, Juan José Padilla Ybarra, Eduardo Romero A, "Metodología para realizar una automatización utilizando PLC", Impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.
- [9] Balcells Joseph, Romeral José Luis "Autómatas programables, Alfaomega", 1999, México D. F.
- [10] Víctor Beleña Boix, "proyecto de automatización de una planta prototipo de fresado, taladrado y clasificado", Universidad Politécnica de Valencia, España, 2015.
- [11] Jorge Gomez, "Diseño de un control de temperatura con plc y sistema de supervisión SCADA vía Ethernet", Revista Politécnica ISSN 1900-2351, Año 5, Número 9, 2009
- [12] Johny Andrés López Londoño, Victor José Zapata Correa, "Diseño de un sistema de control para un taladro electro neumático de banco, bajo norma GEMMA y ambiente SCADA, con seguimiento de ciclos operación" Universidad Tecnológica de Pereira, noviembre 2014.
- [13] Diego Mauricio Sánchez Cardona, "Reacondicionamiento por soldador de costura integrando el control eléctrico en un PLC" Universidad Tecnológica de Pereira, septiembre 2014.